Digitized by Google

FONDO PIZZOFALCONE

NAZIONALE
B. Prov.
IX
273
BIBLIOTECA
VITT. EM. III
NAPOLI

38-a-32

A PROVINCIALE

dio VII

Palchetto 5

Num.° d' ordine 3-38 a 39

Digitized by Google

B. Prov.

IX

273

~~105~~
~~5~~
~~27~~

Maggio 1849
1. 40.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRINCIPES
DE GÉOLOGIE.

Digitized by Google

Paris. — Imprimerie de Bourgogne et Martinet,
rue Jacob, 30.

Digitized by Google

64 232 2

PRINCIPES
DE GÉOLOGIE,

OU

ILLUSTRATIONS
DE CETTE SCIENCE

EMPRUNTÉES AUX CHANGEMENTS MODERNES
que la Terre et ses Habitants ont subis.

PAR

CHARLES LYELL, ESQ.,
membre de la Société royale de Londres.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, SUR LA SIXIÈME ÉDITION, ET SOUS LES AUSPICES DE

M. ARAGO,

PAR

Mme TULLIA MEULIEN.

« Verè scire est per causas scire. » — BACON.

SECONDE PARTIE.

LYON

—

PARIS,
LANGLOIS ET LECLERCQ,
RUE DE LA HARPE 81;
A LYON,
Chez SAVY jeune, libraire, quai des Célestins, 48.
1845.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE

DES MATIÈRES

DE LA SECONDE PARTIE.

CHANGEMENTS PRODUITS DANS LE MONDE INORGANIQUE PAR LES CAUSES AQUEUSES.

Pages

CHAPITRE I. — Division du sujet en changements dans le monde organique et dans le monde inorganique. — Subdivision des causes inorganiques en deux classes : les causes aqueuses et les causes ignées. — Causes aqueuses considérées en premier lieu. — Du pouvoir de transport et de la force destructive des eaux courantes. — Sinuosités des rivières. — La surface du lit de deux cours d'eau, quand ils sont réunis, n'est pas double de celle qu'ils offraient avant leur jonction. — Matières pesantes transportées par les torrents et les déluges. — Des inondations qui ont eu lieu récemment en Écosse. — De l'érosion des cavités qu'on observe dans les roches dures. — Des excavations produites dans les laves de l'Etna par certaines rivières de la Sicile. — Gorge du Simeto. — Rétrogradation graduelle des chutes du Niagara. 1

CHAPITRE II. — Action de l'eau courante. — (*Suite*). Cours du Pô. — Ce fleuve a plusieurs fois changé de lit. — Digues artificielles du Pô, de l'Adige et de diverses autres rivières d'Italie. — Bassin du Mississipi. — Des sinuosités de ce fleuve et des îles qu'il forme. — Changements observés dans son cours. — Raft de l'Atchafalaya. — Bois flottant. — Formation de lacs nouveaux dans la Louisiane. — Tremblement

Digitized by Google

Pages.

de terre dans la vallée du Mississipi. — Inondations produites par des glissements de terrain dans les montagnes Blanches. — Débordement d'un lac en Suisse. — Dégâts occasionnés par l'Anio à Tivoli. . . 30

CHAPITRE III. — DU TRANSPORT DE MATIÈRES SOLIDES PAR LES GLACES. — Du pouvoir de transport de la glace formée dans les rivières. — Des roches annuellement entraînées dans le Saint-Laurent par ses tributaires. — Des effets produits par la marée dans l'estuaire de ce fleuve. — Glace de fond ; son origine et son pouvoir de transport. — Glaciers. — Théorie de leur mouvement descendant. — De la non-stratification des moraines. — Champs de glaces couverts de limon et de pierres. — Limites des glaciers et des champs de glaces. — Des effets qu'ils produisent sur le fond de la mer quand ils viennent à échouer. — — De l'empilement des glaces de côte. — Des blocs erratiques entraînés par la glace sur la côte du Labrador. — Blocs déplacés par les glaces sur la Mer Baltique. — Mise à sec de blocs erratiques sous-marins par suite du soulèvement du fond de la mer. . 65

CHAPITRE IV. — PHÉNOMÈNES DES SOURCES. — Origine des sources. — Puits forés. — Des diverses causes par suite desquelles les eaux minérales et thermales peuvent s'élever jusqu'à la surface du sol. — Du rapport qu'elles ont avec l'action volcanique. — Sources calcaires. — Travertin de l'Elsa. — Bains de San Vignone et de San Filippo, près de Radicofani. — De la structure sphéroïdale qui caractérise le travertin ainsi que le calcaire magnésien anglais. — Bulicami de Viterbe. — Lac de la Solfatare, près de Rome. — Travertin de la cascade de Tivoli. — Sources ferrugineuses. — Sources salées. — Sources carbonatées. — Décomposition du granit en Auvergne. — Sources de pétrole. — Lac de poix de Trinidad. 91

CHAPITRE V. — EFFETS REPRODUCTEURS DES RIVIÈRES. — Division des deltas en lacustres, méditerranéens et océaniques. — Deltas lacustres. — Accroissement du delta du Rhône dans le Lac de Genève. — Détermi-

Digitized by Google

Pages

nation de l'âge des deltas. — Dépôts récents accumulés dans le Lac Supérieur.— Deltas formés dans les mers intérieures. — Abaissement rapide de la Mer Baltique. — Delta marin du Rhône et preuves de son accroissement. — De la nature pierreuse de ses dépôts. — Delta du Pô, de l'Adige, de l'Isonzo et de diverses autres rivières qui se jettent dans l'Adriatique. — De la transformation rapide de cette mer en terre ferme. — Caractères minéralogiques des nouveaux dépôts. — Delta du Nil. 148

CHAPITRE VI. — DELTAS OCÉANIQUES. — Deltas du Gange et du Barrampooter. — Formation et destruction de plusieurs îles dans le lit de ces deux fleuves. — Du grand nombre de crocodiles que renferment les eaux du Gange et de ses affluents.— Inondations. — Delta du Mississipi. — Accumulations de bois transportés par le courant. — Comblement de la Mer Jaune. — De la grande quantité de limon charriée par le Gange. — Formation de vallées expliquée par l'accroissement des deltas.— De l'arrangement des strates nouvelles en général. — Convergence des deltas. — Conglomérats. — Causes diverses de stratification.— Direction des feuillets.— Remarques sur les échanges qui s'opèrent entre la terre ferme et la mer. 180

CHAPITRE VII.— EFFETS DESTRUCTEURS, ET FORCE DE TRANSPORT DES MARÉES ET DES COURANTS. — Différences observées dans l'élévation des marées. — Description du courant des Agullas et du Gulf Stream, par Rennell. — Vitesse des courants. — Causes des courants. — Action de la mer sur les côtes des Iles Britanniques. — Iles Shetland. — Déplacement de gros blocs de roche. — Effets de la foudre. — Iles transformées en groupes de rochers. — Iles Orcades. — Dégradation des côtes orientales de l'Écosse et de l'Angleterre, ainsi que des falaises de l'Holderness, du Norfolkshire et du Suffolkshire. — Envasement des estuaires. — Origine des forêts sous-marines. — Estuaire de Yarmouth — Côte du Suffolkshire. — Dunwich. — Côte de l'Essexshire. — Estuaire de la Tamise. — Sables de Goodwin. — Côtes du Kentshire.

Digitized by Google

Pages.

— Formation du Pas-de-Calais. — Côte méridionale de l'Angleterre. — Sussexshire. — Hants. — Dorsetshire. — Portland. — Origine du banc que l'on nomme *Chesil-Bank*. — Cornouailles. — Côte de Bretagne 215

CHAPITRE VIII. — ACTION DES MARÉES ET DES COURANTS. — (*Suite.*) — Empiètement de la mer sur le delta du Rhin, en Hollande. — Changements survenus dans la direction des bras du Rhin. — Formation de l'estuaire du Bies Bosch, en 1424, et du Zuyderzée, dans le XIIIe siècle. — Destruction de plusieurs îles. — Transformation du delta de l'Ems en baie. — Formation de l'estuaire du Dollart. — Invasion de la mer sur la côte du Sleswig, et sur les rivages de l'Amérique du Nord. — Flot de marée désigné sous le nom de « Barre, » « Bore, » ou « Mascaret. » — Influence des marées et des courants sur le niveau moyen des mers. — Action des courants dans les mers et les lacs intérieurs. — Mer Baltique. — Déluge Cimbrien. — Détroit de Gibraltar. — De la non-existence d'un sous-courant dans ce détroit. — Examen de la question de savoir si le sel est précipité dans la Méditerranée. — Dégradation des rivages de cette mer. 305

CHAPITRE IX. — EFFETS REPRODUCTEURS DES MARÉES ET DES COURANTS. — Le comblement des estuaires ne compense pas la perte qu'éprouve la terre ferme sur les bords de l'Océan. — Lit de la Mer d'Allemagne. — Composition et étendue des bancs de sable qu'elle renferme. — Couches déposées par les courants sur les côtes méridionales et orientales de la Méditerranée. — Transport du sédiment de l'Amazone, de l'Orénoque et du Mississipi par les courants. — Stratification. 328

CHAPITRE X. — ENFOUISSEMENT DE FOSSILES DANS LA TOURBE, DANS LES SABLES MOUVANTS TRANSPORTÉS PAR LE VENT, ET DANS LES ÉJECTIONS VOLCANIQUES. — Division du sujet. — Enfouissement de débris organiques dans des dépôts formés sur un sol émergé.

Digitized by Google

Pages.

— Origine de la tourbe. — Emplacement d'anciennes forêts, en Europe, actuellement occupé par des tourbières. — Minerai de fer limoneux. — Conservation de substances animales dans la tourbe. — Quadrupèdes embourbés dans une tourbière, ou dans un sol marécageux. — Débordement du Solway-Moss. — Enfouissement de corps organisés et de débris humains dans des sables transportés par le vent. — Sables mouvants des déserts d'Afrique. — Opinion de Deluc sur leur origine récente. — Ensevelissement du temple d'Ibsamboul. — Cadavres desséchés dans les sables. — Villes englouties par des inondations de sable. — Enfouissement de débris organiques et autres dans des formations volcaniques accumulées sur la terre ferme. 357

CHAPITRE XI. — ENFOUISSEMENT DE FOSSILES DANS LES DÉPÔTS ALLUVIENS ET DANS LES CAVERNES. — Enfouissement de fossiles dans les terrains d'alluvion. — Effets résultant d'inondations subites. — Du grand nombre d'animaux terrestres conservés dans les districts alluviens où se manifestent souvent des tremblements de terre. — Alluvion marine. — Ville engloutie. — Effets produits par des éboulements. — Débris organiques trouvés dans les fissures et dans les cavernes. — Forme et dimensions des cavernes. — De leur origine probable. — Bassins fermés et rivières engouffrées en Morée. — Katavothra. — Brèches formées avec un ciment rougeâtre. — Débris humains enlités en Morée. — Le mélange observé dans des cavernes du midi de la France et en d'autres contrées, de débris humains et d'ossements de quadrupèdes éteints, ne prouve pas l'ancienne co-existence de l'homme et de ces espèces perdues. 390

CHAPITRE XII. — ENSEVELISSEMENT DE DÉBRIS ORGANIQUES DANS DES DÉPÔTS SOUS-AQUEUX. — Division du sujet. — Enfouissement d'animaux et de plantes terrestres. — Augmentation de la pesanteur spécifique du bois enfoncé à de grandes profondeurs dans la mer. — Bois flottant observé dans le Mackensie, dans le lac de l'Esclave, et dans la Mer Polaire. —

Digitized by Google

Pages.

Arbres flottants dans le Mississipi, dans le Gulf Stream, sur la côte de l'Islande, du Spitzberg et du Labrador. — Description d'une forêt sous-marine découverte sur la côte du Hampshire. — Minéralisation de plantes. — Enfouissement de débris d'insectes et de reptiles.— Causes de la rareté des ossements d'oiseaux dans les formations sous-aqueuses. — Ensevelissement de quadrupèdes terrestres occasionné par des inondations fluviatiles.— Squelettes trouvés dans des marnes coquillières récentes.—Enfouissement de débris de mammifères dans des couches marines. . 425

CHAPITRE XIII.—ENFOUISSEMENT DE DÉBRIS HUMAINS, ET D'OUVRAGES DUS A L'INDUSTRIE DE L'HOMME, DANS DES STRATES SOUS-AQUEUSES. — Transport de corps humains à la mer par des inondations fluviatiles. — Destruction de ponts et de maisons. — Morts occasionnées par des naufrages. — Comment des corps humains peuvent être conservés dans des dépôts récents. — Nombre de vaisseaux naufragés. — Squelettes fossiles d'hommes. — Canots, vaisseaux et ouvrages d'art fossilisés. — Changements chimiques observés dans des objets métalliques après un long séjour dans l'eau. — Ensevelissement de villes et de forêts dans des strates sous-aqueuses, par suite de l'affaissement du sol. — Tremblement de terre au Kotch, en 1819. — Arguments de Berkley en faveur de l'origine récente de l'homme. — Dernières remarques et conclusion. 457

CHAPITRE XIV.— ENFOUISSEMENT D'ESPÈCES AQUATIQUES DANS DES STRATES SOUS-AQUEUSES. — Enfouissement d'animaux et de plantes d'eau douce. — Marne coquillière. — Tiges de Chara et enveloppes de la semence de cette plante à l'état fossile. — Dépôts récents dans les lacs de l'Amérique. — Espèces d'eau douce entraînées dans les mers et dans les estuaires. — Des plaines de Lewes. — De la manière dont se produisent les alternances de strates marines et de strates d'eau douce. — Enfouissement de plantes et d'animaux marins. — Cétacés échoués sur nos rivages. — De la facilité avec laquelle les testacés lit-

Pages.

toraux et ceux qui habitent les estuaires sont entraînés au large. — Effets d'un orage dans le Golfe de Forth. — Coquilles perforantes garanties de l'action ordinaire des vagues et des courants. — Testacés vivants trouvés à des profondeurs considérables. — Étendue de quelques dépôts coquilliers récents. . . 489

CHAPITRE XV — FORMATION DES RÉCIFS DE POLYPIERS.— Développement des polypiers presque entièrement limité aux régions tropicales. — Des principaux genres de zoophytes qui bâtissent des récifs. — De la proportion dans laquelle s'opère leur croissance. — Ils se développent rarement à plus de vingt brasses de profondeur. — Atolls ou récifs annulaires avec lagunes. — Iles Maldives. — Origine de la forme circulaire des atolls. — Les récifs de polypiers ne reposent pas sur des cratères volcaniques submergés. — Théorie de l'affaissement des polypiers proposée par M. Darwin, pour servir d'explication aux récifs annulaires ou atolls. — Cette théorie peut s'appliquer également aux récifs-barrières qui forment enceinte. — Cause pour laquelle le côté au vent, dans les atolls, est le plus élevé. — La théorie de l'affaissement explique pourquoi tous les atolls sont presque au même niveau. — Aires alternantes d'élévation et d'affaissement. — Forme et épaisseur probables qu'ont sous l'eau les polypiers suivant que le mouvement a été ascendant ou descendant, continu dans la même direction ou oscillatoire, lent ou rapide, uniforme ou intermittent. — Origine des passages qu'on observe dans les lagunes. — Grandeur des atolls et des récifs-barrières. — Stratification. — Origine de la chaux. — Controverse élevée au sujet de l'augmentation supposée de la matière calcaire dans les temps modernes. — Dernières remarques et conclusion. 514

FIN DE LA TABLE.

Digitized by Google

INDICATIONS POUR LE RELIEUR.

VOL. II. — SECONDE PARTIE.

La planche 4 doit être placée en regard de la page..... 70
— 5 307

Digitized by Google

PRINCIPES
DE GÉOLOGIE.

LIVRE SECOND.

CHANGEMENTS PRODUITS DANS LE MONDE INORGANIQUE PAR LES CAUSES AQUEUSES.

CHAPITRE I.

Division du sujet en changements dans le monde organique et dans le monde inorganique. — Subdivision des causes inorganiques en deux classes : les causes aqueuses et les causes ignées. — Causes aqueuses considérées en premier lieu. — Du pouvoir de transport et de la force destructive des eaux courantes. — Sinuosités des rivières. — La surface du lit de deux cours d'eau, quand ils sont réunis, n'est pas double de celle qu'ils offraient avant leur jonction. — Matières pesantes transportées par les torrents et les déluges. — Des inondations qui ont eu lieu récemment en Écosse. — De l'érosion des cavités qu'on observe dans les roches dures. — Des excavations produites dans les laves de l'Etna par certaines rivières de la Sicile. — Gorge du Simeto. — Rétrogradation graduelle des chutes du Niagara.

Division du sujet. — La Géologie, d'après les définitions qu'on en a données, a pour but l'étude des

Digitized by Google

anciens changements qu'ont subis, soit le règne organique, soit le règne inorganique. Or, comme les vicissitudes qui ont eu lieu dans le monde inorganique sont celles qui nous frappent le plus, et comme d'ailleurs c'est d'elles que doivent dépendre, en grande partie, les changements que le monde organique a éprouvés, nous en ferons l'objet de nos premières investigations.

Les grandes causes de changements relatifs au monde inorganique peuvent se diviser en deux classes principales : les causes aqueuses et les causes ignées. Aux premières appartiennent les rivières, les torrents, les sources, les courants et les marées ; aux secondes, les volcans et les tremblements de terre. Quoique les unes et les autres de ces causes soient aussi bien des instruments de destruction que de reproduction, elles peuvent être regardées comme des forces antagonistes ; car les causes aqueuses travaillent sans cesse à niveler les inégalités de la surface du globe, tandis que les causes ignées tendent au contraire à rétablir ces inégalités, soit en amoncelant de nouvelles matières sur certains points, soit en déprimant une portion du sol, et en en faisant sortir une autre par force de l'écorce terrestre.

Il est difficile, si l'on procède rigoureusement, de donner une idée exacte des effets combinés d'un si grand nombre de forces exerçant simultanément

Digitized b

leur action, parce que lorsqu'on les considère séparément, on ne peut estimer aisément ni leur puissance, ni la nature de leurs résultats. Nous sommes donc exposés, quand nous cherchons à étudier l'influence qu'exerce chacune d'elles en particulier, à ne pouvoir apprécier les modifications qu'elles produisent les unes sur les autres, ces modifications étant d'ailleurs si complexes que les forces ignées et les forces aqueuses concourent quelquefois pour produire un effet auquel ni les unes ni les autres de ces forces ne pourraient, seules, donner lieu. C'est, par exemple, ce qui arrive quand des tremblements de terre contribuent, avec l'eau courante, à élargir une vallée, ou quand une source thermale sort d'une grande profondeur, et envoie les matières minérales dont elle est chargée, de l'intérieur de la terre à la surface. D'autres fois, les causes organiques se combinent avec les causes inorganiques, comme lorsqu'un récif formé de coquilles et de coraux protège une ligne de côtes contre la puissance destructive des marées ou des courants, et la force à se diriger vers quelque autre point; ou lorsque des bois flottants dans un lac viennent à remplir une cavité dans laquelle le courant n'aurait pas eu une vitesse suffisante pour transporter des sédiments terreux.

Nous devons avant tout nous appliquer avec soin

Digitized by

à diviser nos observations sur ces diverses causes, et à les classer systématiquement, tâchant autant que possible de ne pas perdre de vue que les effets qui se produisent dans la Nature sont complexes et non pas simples, comme ils peuvent le paraître dans un arrangement artificiel.

Nous traiterons d'abord des causes aqueuses, et nous les partagerons en deux divisions : dans la première seront rangées celles qui se lient à la circulation des eaux se dirigeant des continents vers les mers, comme les rivières et les sources ; dans la seconde, les causes résultant des mouvements de l'eau dans les lacs, dans les mers et dans l'Océan, telles que les marées et les courants. Quant à la première division, nous verrons que les phénomènes propres aux rivières peuvent être distingués de la manière suivante. d'une part, ceux qui, tels que l'érosion des roches, et le transport de la matière de niveaux élevés à des niveaux plus bas, sont d'une nature destructrice ; de l'autre, ceux qui, tels que la formation des deltas due à l'accumulation des sédiments et au peu de profondeur des mers, offrent, au contraire, un caractère de reproduction ou de renouvellement.

Action de l'eau courante. — Je commencerai donc par décrire le pouvoir destructeur et la force

Digitized by Google

de transport de l'eau courante, dont les torrents et les rivières nous présentent l'exemple. On sait que les terres élevées au-dessus du niveau de la mer attirent, proportionnellement à leur volume et à leur densité, une quantité notable de la vapeur d'eau que l'atmosphère échauffée enlève continuellement à la surface des lacs et de l'Océan : il en résulte que les hautes régions terrestres deviennent des réservoirs perpétuels d'où l'eau s'échappe pour arroser les plaines et les vallées basses. C'est donc dans ces régions que presque toute l'eau s'accumule d'abord ; puis, descendant vers la mer par des déclivités escarpées, elle acquiert plus de vitesse, et déplace une quantité de terre plus considérable qu'elle ne le ferait si la pluie était tombée sur les plaines et sur les montagnes en quantités proportionnelles à leur étendue respective. C'est ainsi que la plus grande partie de l'eau courante parcourt un long trajet avant de pouvoir regagner la mer. Dans les hautes régions, plus que partout ailleurs, les roches sont exposées aux influences atmosphériques, telles que la gelée, la pluie, la vapeur, ainsi qu'à des alternatives annuelles de froid et de chaud, d'humidité et de sécheresse, extrêmement considérables.

Parmi les causes de destruction les plus puissantes, nous citerons la propriété que l'eau possède de se dilater en se congelant. Son augmentation de

volume, quand elle est convertie en glace, ne s'élève pas à moins de $\frac{1}{20}$ du volume total, si bien que lorsque l'eau, après avoir pénétré dans les fissures des roches les plus solides, vient à s'y congeler, elle les fait éclater, par l'effet d'une force mécanique (*). C'est par cette raison que, bien que dans les climats froids, la quantité comparative de pluie qui tombe soit de beaucoup inférieure à celle que l'on observe dans les régions tropicales, en même temps que sa chute est répartie sur un plus grand nombre de mois et de jours, l'intensité de la gelée et les grandes inégalités de la température compensent, jusqu'à un certain point, ce que la cause de dégradation provenant de la pluie a pu perdre de sa force. Le pouvoir dissolvant de l'eau est aussi très considérable; il agit particulièrement sur les éléments calcaires et alcalins de la pierre, surtout quand l'eau contient de l'acide carbonique, substance que les sources fournissent en abondance à presque toutes les grandes rivières, et qui est recueillie dans l'atmosphère par la pluie. L'oxigène de l'atmosphère est aussi graduellement absorbé par toutes les productions animales et végétales, et par presque toutes les masses minérales exposées à l'air libre. Il dé-

(*) Quart. Journ. of Sci., etc. (Journal Trimestriel des Sciences, etc.) Nouvelle série, nº. XIII, p. 194.

Digitized by Google

truit peu à peu l'équilibre des éléments constituants des roches, et tend à réduire en poudre, ainsi qu'à transformer en terrains meubles, les agrégats les plus durs qui entrent dans la constitution du globe (*).

Quand une fois la matière terreuse se trouve mêlée à l'eau courante, le frottement du sable et des cailloux charriés avec violence par cette eau donne lieu à une nouvelle force mécanique. Ainsi, l'eau courante chargée de matières étrangères, venant à battre contre un rocher, ne cesse de le miner, de le saper, jusqu'à ce qu'enfin la partie supérieure de ce rocher soit précipitée dans le courant. L'obstacle qu'oppose alors ce fragment de roc occasionne un remous temporaire qui entraîne la barrière.

Sinuosités des rivières. — Par la répétition continue de ces chutes de terrain, le ravin dans lequel un courant a commencé à se frayer une issue se trouve transformé en une petite vallée étroite où les détours que fait le courant, tantôt d'un côté et tantôt de l'autre, donnent lieu à des sinuosités. L'inégale dureté des matières à travers lesquelles se forme le canal tend à donner de nouvelles directions à la force d'excavation qui s'exerce latérale-

(*) Sir H. Davy, Consolations in Travel (Consolations en voyage), p. 271.

Digitized by Google

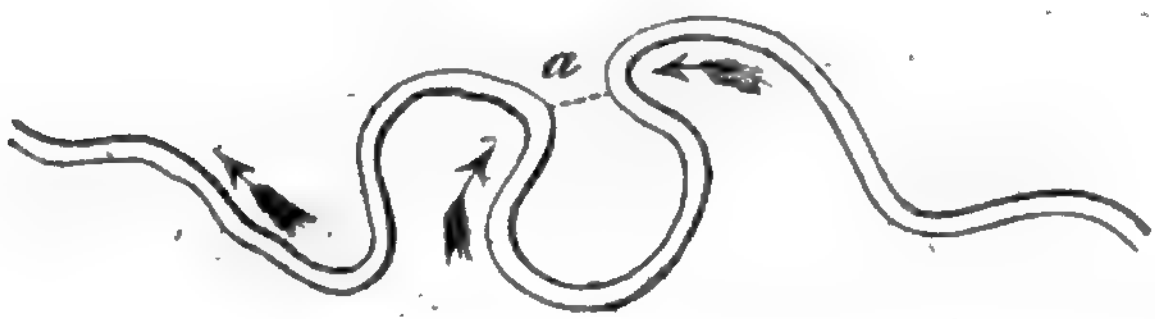
ment. Quand, par suite, soit de cette circonstance, soit de changements accidentels dans la matière alluviale du canal, et d'autres causes encore, le courant vient à traverser sa ligne générale de descente, il creuse une courbe dans le bord opposé, ou dans le flanc des collines qui limitent la vallée. Une fois cette courbe tracée, il traverse de nouveau la ligne de descente, en faisant un angle égal au premier, et s'en va creuser, du côté opposé, mais plus bas, une autre courbe, retournant ensuite vers l'autre bord, et toujours ainsi, jusqu'à ce que les deux côtés de la vallée, ou le lit de la rivière, présentent une suite d'angles saillants et d'angles rentrants. Parmi les causes de déviation d'une ligne droite par lesquelles les torrents et les rivières tendent, dans les régions montagneuses, à élargir les vallées où ils coulent, nous citerons entre autres le confluent des torrents latéraux qui, se trouvant grossis irrégulièrement à différentes époques de l'année par des orages partiels, déchargent dans le canal principal, à ces époques diverses, des quantités inégales de sable, de limon et de cailloux.

Quand les sinuosités décrites par une rivière sont très considérables, la déviation de la ligne directe de descente est souvent rétablie par le cours de la rivière à travers l'isthme qui sépare deux courbes voisines. C'est ainsi que, dans la figure ci-jointe, les

Digitized by Google

sinuosités très marquées que forme la rivière la font

Fig. 13.



retourner, sur un petit espace, dans une direction contraire à son cours principal. Il en résulte une presqu'île dont l'isthme *a* se trouve peu à peu détruit, des deux côtés, par des courants qui coulent en sens contraires. Dans ce cas, une île de chaque côté de laquelle reste ordinairement une portion du courant, est bientôt formée.

Pouvoir de transport de l'eau. — Quant à ce qui regarde la force de transport de l'eau, on peut souvent être surpris de la facilité avec laquelle des courants peu considérables, et à pente très faible, transportent de gros sable et du gravier. Cela tient à ce qu'on estime d'ordinaire le poids des roches d'après celui qu'elles ont dans l'air, sans avoir égard à celui qu'elles doivent avoir dans un milieu plus dense. La pesanteur spécifique d'un grand nombre de roches n'excède pas deux fois celle de l'eau; rarement elle est trois fois plus

Digitized by Google

grande. Il suit de là que la plupart des matières que charrie un courant ont perdu le tiers, et quelques unes d'entre elles la moitié de ce que nous appelons ordinairement leur poids.

Contrairement aux anciennes théories sur l'hydrostatique, l'expérience a fait reconnaître comme une loi universelle réglant le mouvement de l'eau courante, que la vitesse d'un courant est toujours moindre au fond qu'en aucun autre point, et que c'est près de la surface qu'elle atteint son maximum. Il est bien constaté aussi que les molécules superficielles du milieu du courant se meuvent plus vite que celles des côtés. Or, ce retard des courants les plus bas et latéraux est dû au frottement ; et quand la vitesse est suffisante, le sol dont les côtés et le fond sont formés se désagrège et cède. Une vitesse de trois pouces (75^{mm}) par seconde, dans le fond, suffit pour entraîner de l'argile fine ; six pouces (15^{c}), du sable fin ; douze pouces (30^{c}) du gravier fin ; et trois pieds (90^{c}), des pierres de la grosseur d'un œuf (*).

Lorsque l'on considère cette force mécanique de l'eau courante, on admet sans peine que des torrents et des rivières qui descendent avec rapidité de régions montagneuses puissent transporter de grandes quantités de gravier, de sable et de limon ;

(*) Encyc. Brit. (Encyclopédie Britannique), art. Rivières.

Digitized by Google

mais ce que l'on conçoit plus difficilement, c'est la manière dont les rivières les plus tranquilles, celles qui coulent dans des vallées ou dans des plaines, et sur un sol uni, comparativement, peuvent transporter jusqu'à la mer la masse prodigieuse de matériaux qu'ont entraînée dans leur lit leurs nombreux tributaires. Si les rivières n'étaient pas douées de ce pouvoir de transport, leurs canaux se trouveraient engorgés chaque année, et les vallées des basses terres seraient, ainsi que les plaines situées au pied des chaînes de montagnes, jonchées de fragments de roche, et couvertes de sable stérile. Mais ce double inconvénient est prévenu par une loi générale qui règle la direction de l'eau courante — loi en vertu de laquelle le lit de deux courants égaux n'offre pas, quand ces courants viennent à se réunir, une surface double de celle qu'ils avaient avant leur jonction. En d'autres termes, quand plusieurs rivières se réunissent en une seule, l'étendue superficielle de la masse liquide est bien moindre que celle qu'occupaient séparément les divers courants. Au lieu de se répandre horizontalement sur un large espace, les eaux réunies se resserrent de manière à former une colonne dont la hauteur est très grande relativement à sa largeur. Il en résulte que le courant principal éprouve souvent un mouvement d'accélération dans la partie

Digitized by Google

basse du pays, là même où la pente du lit de la rivière est diminuée, une petite portion du courant se trouvant retardée par le frottement qui s'exerce contre le fond et les côtés du canal. Le courant parvient ainsi à frayer sa route en surmontant tous les obstacles qui peuvent s'y rencontrer, et à entraîner peu à peu les matériaux provenant des hautes terres qui sont accumulés dans son lit.

Il arrive assez souvent, ainsi que plusieurs exemples le démontreront, que deux grandes rivières ne présentent, après leur jonction, qu'une *surface* égale à celle que chacune d'elles avait auparavant; quelquefois même, comme nous le disions tout-à-l'heure, leurs eaux réunies sont renfermées dans un lit plus étroit que celui qu'elles remplissaient séparément. Dans ce cas, l'eau qui arrose les contrées intérieures se trouve continuellement occuper un espace de moins en moins grand, à mesure qu'elle avance vers la mer, d'où il suit que la partie la plus riche de nos continents, les deltas si féconds, et les grandes plaines d'alluvion, ne sont pas constamment submergés (*).

Débordements de rivières en Ecosse (1829). — L'orage et les inondations qui eurent lieu les 3 et

(*) Voyez article Rivières, Encyc. Brit.

Digitized by Google

4 août 1829, dans l'Aberdeenshire, ainsi qu'en divers autres comtés de l'Ecosse, ont fourni plusieurs exemples remarquables de la faculté qu'ont les eaux courantes de transporter des pierres et autres corps pesants. L'orage présentait tous les caractères qui distinguent les ouragans tropicaux. Le vent soufflait par bouffées violentes et par tourbillons ; les éclairs se montraient, et le tonnerre grondait avec une intensité des plus rares dans nos climats, en même temps qu'une abondante pluie tombait sans interruption. Les inondations eurent lieu presque simultanément, et avec une égale violence, dans cette partie du nord-est de l'Écosse qui serait détachée du reste du pays par deux lignes tirées de l'extrémité supérieure du Lochrannoch, et aboutissant, l'une près d'Inverness, l'autre à Stonehaven. La longueur totale de la ligne de débordement ne dut pas être de moins de cinq à six cents milles (180 à 220 lieues) pour les différentes rivières dont les eaux abandonnèrent leur lit. Partout la destruction en indiquait la trace ; on ne voyait que ponts, chemins, bâtiments emportés et récoltes détruites. Sir T. D. Lauder enregistra la destruction de trente-huit ponts, ainsi que l'entier anéantissement d'un très grand nombre de fermes et de hameaux. Le Nairn entraîna dans son cours, et transporta à plus de

deux cents mètres, un bloc de grès de quatorze pieds ($4^m,26$) de long, sur trois (90^c) de large et un (30^c) d'épaisseur. Plusieurs ravins nouveaux se formèrent sur des versants de montagnes où jusqu'alors on n'avait observé aucun courant, et d'anciens lits de rivières qui, de temps immémorial, n'avaient jamais été remplis, livrèrent passage aux eaux d'une très grande inondation (*).

Le pont de Ballater, sur la Dee, consistait en cinq arches, et le fond de la rivière qui supportait ses piles, sur une étendue de deux cent soixante pieds (près de 80^m), était composé de fragments roulés de granit et de gneiss. Ce pont, bâti en granit, était resté intact pendant vingt ans; mais ses différentes parties furent entraînées successivement par l'inondation, et la masse de maçonnerie disparut entièrement sous les eaux. M. Farquharson rapporte, dans son mémoire sur les inondations, que la rivière Don a, sur ses propres terres, transporté une masse de quatre à cinq cents tonneaux (1) de pierres, plusieurs desquelles pesaient de deux à trois cents livres, sur le haut d'un plan incliné dont la pente était de six pieds ($1^m,82$) pour huit ou dix mètres d'étendue; puis, qu'elle les a

(*) Mémoire sur les grandes inondations qui ont eu lieu dans le Morayshire en août 1829, par sir T. D. Lauder.

(1) Un tonneau (*ton*) égale 20 quintaux ou 1015,65 kilogrammes. T. M.

Digitized by Google

laissées sur un terrain plat, disposées en un tas rectangulaire de trois pieds (90c) environ d'épaisseur, et se terminant brusquement vers son extrémité inférieure (*).

Le Collége, petit courant qui descend sur une pente modérée, le long du versant oriental des monts Cheviot, a offert récemment un exemple de la force de transport qu'un très petit ruisseau peut acquérir quand il est grossi par les pluies. Ce courant transporta jusqu'à la plaine du Till plusieurs milliers de tonneaux pesant de gravier et de sable ; il entraîna aussi un pont alors en construction. Plusieurs pierres des arches de ce pont, dont chacune pesait de $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$ de tonneau, furent déplacées de deux milles ($\frac{2}{3}$ de lieue environ) dans la direction du ruisseau. Le courant arracha aussi d'une écluse de moulin un gros bloc de porphyre à pâte de grunstein, pesant deux tonneaux environ, et le transporta à la distance d'un quart de mille ($\frac{1}{10}$ de lieue environ). On cite encore, comme se reproduisant souvent, d'autres exemples dans lesquels ce même petit courant entraîne dans un jour, à des distances encore plus grandes, des quantités de gravier du poids total de mille à trois mille tonneaux (**).

(*) Quarterly Journ. of Sci., etc. N° 12, Nouvelle Série, p. 331.

(**) Voyez un Mémoire de M. Culley, membre de la Société

Digitized by Google

Dans les divers cas dont il vient d'être parlé, les eaux de la rivière et du torrent se trouvaient retenues en amont par les ponts qui faisaient l'effet de barrières partielles, et montraient la force irrésistible qu'un courant peut acquérir quand il rencontre quelque obstacle. Les ponts sont sujets aussi à être détruits par la tendance qu'ont les rivières à changer leur cours, et qui finit par miner la jetée ou la roche sur laquelle reposent les fondations.

Excavation des roches produite par l'eau courante. — La rapidité avec laquelle les courants, même les plus petits, creusent de profonds canaux dans des terrains qui se désagrègent facilement, se trouve démontrée de la manière la plus frappante dans les régions volcaniques, où le sable et les tufs à demi consolidés n'opposent qu'une faible résistance aux torrents qui descendent du flanc des montagnes. Après les pluies considérables qui suivirent l'éruption du Vésuve de 1824, les eaux en s'écoulant, le long des pentes de l'Atrio del Cavallo, creusèrent en trois jours une nouvelle cavité de vingt-cinq pieds (7^{m},62) de profondeur, dans les strates

Géologique. Proceedings of Geol. Soc. (Procès-verbaux de la Société Géologique), N° 12., 1829.

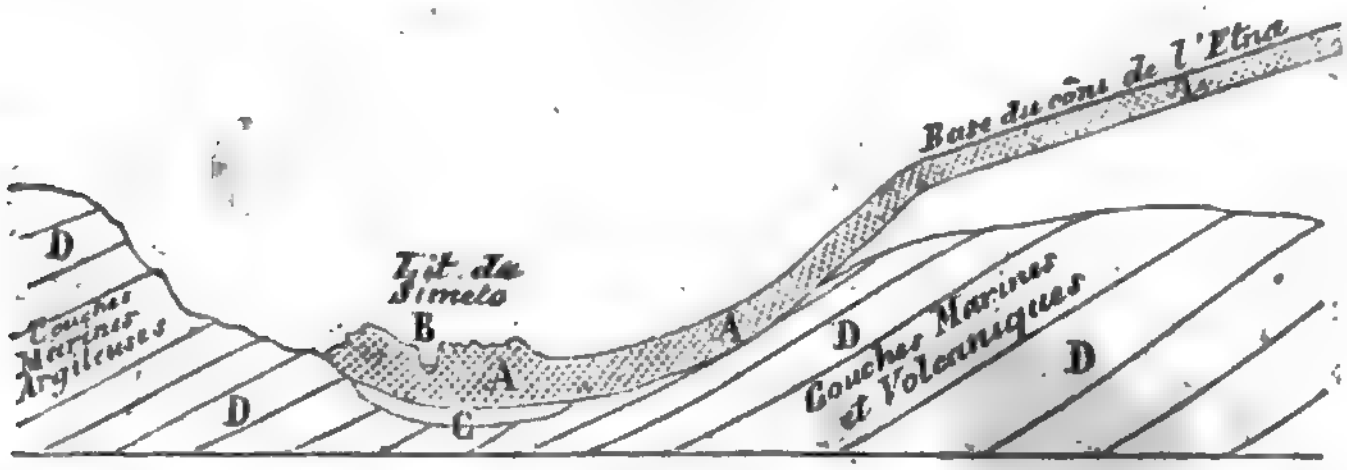
Digitized by Google

de tuf et de matières émises par le volcan. En 1828, je trouvai l'ancien chemin des mules coupé par ce nouveau ravin.

Le creusement graduel de cavités profondes dans quelques unes des roches les plus dures, par suite du passage continu de l'eau courante chargée de matières étrangères, est un autre phénomène dont on peut citer aussi des exemples frappants. Plusieurs vallées dans la France centrale offrent des preuves de ce pouvoir d'érosion. On y voit des lits de rivières qui ont été barrés par des courants solidifiés de laves, dans lesquels des cours d'eau ont ensuite creusé de nouveaux canaux de vingt à soixante-dix pieds (6^{m} à 21^{m}), ou même plus, de profondeur, et souvent d'une grande largeur. D'irrécusables témoignages attestent cependant que ni la mer, ni aucune vague dénudante ou masse d'eau extraordinaire, n'a passé là depuis que la lave s'est consolidée. Toutes les diverses hypothèses que l'on a faites pour rendre compte du phénomène par l'intervention d'une action violente et subite ont été rejetées comme inadmissibles, parce que souvent les cônes de scories *non agglutinées* qui donnèrent issue à la lave s'élèvent peu au-dessus du niveau des rivières, et que, de plus, ils n'ont éprouvé aucun dérangement pendant tout le temps qu'a duré le creusement de ces énormes ravins.

Excavation récente faite par le Simeto. — Je m'en tiendrai, quant à présent, à des exemples tirés d'événements qui ont eu lieu dans les temps historiques.

Fig. 14.



Excavation récente faite dans la lave, au pied de l'Etna, par le Simeto.

A la base occidentale de l'Etna, un courant de lave (AA fig. 14), descendant d'un point voisin du sommet du grand volcan, a coulé sur un espace de cinq ou six milles (près de 2 lieues) d'étendue, puis a atteint la plaine alluviale du Simeto, la plus grande des rivières de Sicile, qui borde la base de l'Etna, et se jette dans la mer à quelques milles de Catane. La lave pénétra dans la rivière à trois milles (1[1]) environ au-dessus de la ville d'Aderno, et non seulement elle occupa son canal jusqu'à une certaine distance, mais le traversant entièrement, elle alla former du côté opposé de la vallée une masse solide. Gemmellaro fixe à l'an 1603 la date de cette

Digitized by Google

éruption (*). L'aspect qu'offre le courant indique évidemment que c'est un des plus modernes de ceux qui ont sillonné l'Etna ; car il n'a été ni recouvert ni croisé par d'autres courants émis postérieurement par le volcan ; d'un autre côté, les oliviers qui ont été plantés à la surface sont tous de petite taille, quoique plus vieux que les arbres qui sont venus naturellement sur la même lave. Le Simeto a donc creusé, dans le cours de deux siècles à peu près, un passage de cinquante à plusieurs centaines de pieds de large, et en quelques parties, de quarante à cinquante pieds (12 à 15^{m}) de profondeur.

La portion de lave coupée par la rivière n'est, en aucun endroit, poreuse ou scoriacée ; mais elle consiste en une masse compacte homogène, d'une roche bleuâtre et dure, dont la pesanteur spécifique est moindre quelquefois que celle du basalte ordinaire ; elle renferme des cristaux d'olivine et de feldspath vitreux. La pente de cette partie du lit du Simeto est, en général, peu considérable ; mais à Passo Manzanelli, l'inégale dégradation de la lave donne lieu à deux chutes d'eau d'environ six pieds (1^{m},83) de haut chacune. (*Voy.* B, fig. 14.) Cette cavité a

(*) Quadro Istorico dell' Etna, 1824. Bien que quelques auteurs aient mis en doute l'âge précis de ce courant, tous s'accordent à penser qu'il n'est pas un des plus anciens, même de l'époque historique.

Digitized by Google

environ quarante pieds (12^{m}) de profondeur sur cinquante (15^{m}) seulement de largeur.

Le sable et les cailloux du lit de la rivière consistent principalement en un grès quartzeux brunâtre, provenant de la région supérieure; mais les débris de la roche volcanique elle-même doivent, par suite de leur frottement, contribuer pour beaucoup à l'usure de la lave. Cette rivière n'a pas encore, comme le Caltabiano, qui est situé à l'orient de l'Etna, creusé jusqu'à l'ancien lit qu'il a abandonné, et dont la position probable est indiquée en *c* dans la figure 14.

En entrant dans le ravin étroit où l'eau écume au pied des deux cataractes, on est entièrement privé de la vue du pays environnant; si bien qu'un géologue accoutumé à associer les traits caractéristiques du paysage avec l'âge relatif de certaines roches, a peine à se défendre de l'idée qu'il se trouve au milieu de quelque gorge de terrain primaire. Les formes extérieures de la lave durcie et d'un aspect bleuâtre sont aussi massives que celles des trapps d'Écosse les plus anciens. La surface solide qui, en quelques parties, est unie et presque polie par suite du frottement, est, sur d'autres points, couverte d'un lichen blanc; ce qui, en lui donnant l'apparence d'une haute antiquité, ajoute encore beaucoup à l'illusion. Mais aussitôt que l'on remonte

la pente qui forme l'encaissement du ravin, tout le charme est détruit; car, à peine a-t-on fait quelques pas que la rivière et le ravin disparaissent, et qu'on se trouve sur la surface noire et rugueuse d'un immense courant de lave qui semble n'avoir éprouvé aucune fracture, et qu'on peut suivre jusqu'à la distance assez éloignée du sommet de ce cône majestueux que Pindare appelait « le pilier des cieux. » Une colonne floconneuse de vapeur sort encore de ce cône, comme pour nous rappeler que ses feux ne sont pas éteints, et qu'il émettra peut-être encore quelque jour un nouveau courant susceptible d'acquérir, en se solidifiant, une texture rocheuse, et d'offrir à de futurs observateurs des scènes analogues à celles que nous venons de décrire.

Chutes du Niagara. — Les Chutes du Niagara offrent un exemple magnifique de l'excavation progressive d'une vallée profonde dans une roche dure. Ce fleuve sort du lac Érié, et se jette dans le lac Ontario. Le niveau de ce dernier lac est de 330 pieds (100^{m}) inférieur à celui du premier, et la distance qui les sépare est de trente-deux milles (12 lieues environ). En sortant du lac Érié, le Niagara est presque du même niveau que ses bords, de sorte que si ses eaux s'élevaient de huit ou dix pieds (2^{m},50 à 3^{m}), elles submergeraient, à l'ouest, le pays plat adjacent

Digitized by Google

du haut Canada, et à l'est, celui de l'État de New-York (*). Ce fleuve a environ trois quarts de mille ($\frac{1}{4}$ de lieue à peu près) de large à son embouchure. Avant d'atteindre les cataractes, il acquiert une très grande rapidité, sa pente étant de cinquante pieds (15^m) sur une étendue d'un demi-mille ($\frac{1}{5}$ de lieue environ). En cet endroit, il a un mille (un peu plus de $\frac{1}{3}$ de lieue) de largeur, et vingt-cinq pieds (7^m,5) de profondeur. Une île située au bord même de la cataracte, la divise en deux nappes d'eau : l'une, que l'on appelle la Chute du Fer-à-Cheval, a six mètres de largeur, et cent cinquante-huit pieds (48^m) de hauteur ; l'autre, que l'on désigne sous la dénomination de Chute Américaine, a environ deux cents mètres de largeur, et cent soixante-quatre pieds (50^m) de hauteur. La largeur totale de l'île est de cinq cents mètres environ. Cette grande masse d'eau se précipite sur un lit de calcaire dur, disposé en strates horizontales, au-dessous desquelles se trouve un banc d'argile schisteuse tendre, un peu plus épais, et qui se dégrade plus rapidement que le calcaire, d'où il suit que la roche supérieure semble, en s'avançant de quarante pieds (12^m), ou même plus, au-dessus de l'espace vide résultant de la dégradation de l'argile, prête à s'y précipiter.

Les bouffées de vent chargées d'écume qui

(*) Voyages de Hall dans l'Amérique du Nord, vol. I, p. 179

Digitized by Google

viennent du bassin dans lequel retombe cette énorme cascade, frappent contre les lits d'argile schisteuse; ce qui devient pour eux une cause de désagrégation constante, indépendamment de celle qu'ils éprouvent en certaines saisons par la force d'expansion de la gelée. De temps à autre, il se détache du calcaire ainsi privé d'appui, des fragments énormes qui, en tombant, déterminent un choc que l'on ressent même à quelque distance. Ce choc est accompagné d'un bruit semblable à celui d'un coup de tonnerre éloigné. Quand le fleuve a passé les Chutes, il prend, dit le capitaine Hall, un caractère tout différent. Il va rouler alors ses eaux avec fureur sur le fond d'une vallée dont les parois s'élèvent comme des murs, ou, en d'autres termes, d'une énorme tranchée que l'action continue du courant a, par la suite des siècles, creusée dans les strates horizontales. Son lit est jonché de très gros fragments de roche, et les rochers qui la bordent des deux côtés étant presque partout perpendiculaires, on ne peut apercevoir le ravin qu'en s'approchant du bord du précipice (*).

Les eaux, dont la surface s'élargit considérablement vers les Chutes, où elles se trouvent divisées par l'île, se resserrent ensuite de nouveau, de ma-

(*) Voyages de Hall dans l'Amérique du Nord, vol. I, p. 195, 196, 216.

Digitized by Google

nière à n'offrir, après leur réunion, qu'une surface de cent soixante mètres de large au plus. Une chose digne de remarque, c'est que l'eau du bassin dans lequel tombe la cataracte, et celle du canal étroit qui se trouve immédiatement au-dessous, loin d'être dans un état d'agitation extrême, sont assez tranquilles pour qu'un bac puisse les traverser facilement, et même s'avancer jusqu'à la portée de l'écume, sans éprouver aucun mouvement violent. Plusieurs explications de ce phénomène ont été proposées. Suivant M. Gibson, la grande masse d'eau verte comme l'eau de mer, au lieu de pénétrer dans la nappe inférieure, à une grande profondeur, comme le ferait une colonne solide, se transforme, en se précipitant d'une hauteur de cent soixante pieds (49^{m}), en écume blanche et légère. Il admet que la majeure partie de l'eau tomberait de cette manière, et que le reste perdrait toute sa force en se projetant sur les débris accumulés au pied de la chute (*).

Rétrogradation des Chutes. — Lorsqu'en 1829 M. R. Bakewell jeune visita les Chutes, il constata, d'après le témoignage d'une personne qui avait habité le pays pendant quarante ans, et qui en avait

(*) Silliman's American Journal (Journal Américain, publié par Silliman), vol. XXIX, p. 206.

Digitized by Google

été le premier colon, que dans cet intervalle, les Chutes du côté du Canada avaient rétrogradé de quarante à cinquante mètres, par suite de la dégradation continue de l'argile schisteuse, et de la destruction de la roche calcaire qui lui est superposée (*). Or, le ravin qui se trouve au-dessous des Chutes ayant été ainsi prolongé, et la portion du canal qui a été creusée dans le cours du demi-siècle dernier offrant, tant en largeur qu'en profondeur, des dimensions moyennes analogues à celles du ravin inférieur (**), il est tout naturel de rechercher depuis combien de temps dure l'action qui donne lieu à ces effets, et en quel point a commencé la rétrogradation de la cataracte. Le ravin dans lequel coule le Niagara se prolonge de sept milles ($2^{l}\frac{1}{2}$) environ, au-dessous des Chutes. Ses bords perpendiculaires conservent sur toute leur longueur une élévation moyenne de deux cents pieds (61^{m}), le sol supérieur s'inclinant comme le lit de la rivière qui s'abaisse de cent quatre pieds ($31^{m},70$) pour un parcours de sept milles ($2^{l}\frac{1}{2}$) (***). Après avoir suivi, sur cet espace,

(*) Le mémoire de M. Bakewell renferme deux esquisses très fidèles de la géographie physique de la région située entre les lacs Erié et Ontario, et comprenant les Chutes. — Mag. d'Hist. Nat. de Londres, N° 12, Mars 1830.

(**) Voyez ce qu'a écrit le professeur Rogers sur ce sujet, dans le Silliman's American Journal, vol. XXVII, p. 326.

(***) Ibid, p. 328.

une pente insensible, le plateau, qui est presque de niveau avec le lac Érié, se termine brusquement à Queenstown, où règne des deux côtés de la rivière, à l'est et à l'ouest, une sorte de falaise abrupte. Là, le fleuve abandonne le ravin pour couler dans une plaine qui se prolonge jusqu'aux bords du lac Ontario. L'analogie qu'on observe entre les formations géologiques du plateau qui s'étend de Queenstown au lac Érié, et celles qui sont maintenant à découvert aux Chutes, a fait presque généralement adopter l'opinion que jadis les Chutes se trouvaient à Queenstown, d'où elles se sont graduellement éloignées de sept milles ($2^{l}\frac{1}{2}$), — distance qui sépare Queenstown de leur place actuelle. Le dépôt supérieur est une formation d'eau douce qui consiste principalement en gravier, et renferme des fragments de calcaire, ainsi que de plusieurs autres roches de transport. Il se termine, dans le bas, par une strate d'argile fine, dont l'épaisseur n'excède pas quelques pieds. Les coquilles d'eau douce que l'on observe dans ce dépôt passent pour être identiques en espèces avec celles qui, à l'époque actuelle, habitent le lac Érié. Au-dessous de ces couches superficielles est une roche de calcaire dur, de quatre-vingt-dix pieds ($27^{m},43$) de puissance environ, qui s'étend sur toute la contrée dans une direction à peu près horizontale, et forme le lit de

Digitized by Google

la rivière, au-dessus des Chutes, comme le forment, au-dessous, les argiles schisteuses inférieures.

Si la rétrogradation des Chutes s'était toujours effectuée à raison de cinquante mètres par quarante ans, le creusement total du ravin, dont la longueur est de sept milles ($2\frac{1}{2}$), n'aurait pas exigé moins de dix mille années. Mais le professeur Rogers, M. Hayes, et plusieurs autres auteurs américains, ont très judicieusement observé que tous les calculs relatifs au temps pendant lequel s'est produite l'excavation du ravin devront toujours être considérés comme fort incertains, tant que l'on ne pourra assigner avec certitude quels étaient les traits topographiques de la région à l'époque où elle émergea, soit des eaux de la mer, soit de celles d'un lac. Une partie du ravin peut originairement avoir coïncidé avec quelque fente existant dans les roches, puis s'être agrandie par l'effet des marées et des courants, pendant le soulèvement graduel du district, et antérieurement à l'existence de la rivière. M. Hayes a constaté qu'entre les Chutes et Queenstown, il se trouve une petite échancrure latérale qui, partant du ravin principal, et ne pouvant avoir été formée par la cataracte, implique nécessairement l'ancienne action de plusieurs autres causes (*).

(*) Silliman's American Journal, vol. XXXV, p. 102.

Digitized by Google

Quant à la rétrogradation future des Chutes, il ne semble pas moins difficile de l'évaluer; car, à mesure qu'elles se retirent, la hauteur du précipice peut augmenter ou diminuer, par suite de la dureté variable des roches, du partage du courant par des îles, ou de toute autre circonstance modifiante.

S'il était possible que, dans le cours de plusieurs milliers d'années, les Chutes atteignissent le lac Érié, qui en est à vingt-cinq milles (9'), ce lac pourrait d'autant plus facilement être mis à sec que la hauteur actuelle des Chutes excède sa plus grande profondeur (*).

On peut se demander également si, d'après le peu de profondeur du lac Érié (cette profondeur n'est, en moyenne, que de dix ou douze brasses ou *fathoms*) (1), il ne se pourrait pas que l'espace entier qu'il occupe ne fût converti en terre ferme avant que les Chutes eussent reculé jusqu'à ses bords (2).

(*) De la Bèche, Geol. Manual (Manuel de Géologie), 3e édition, p. 60.—Rogers, Silliman's American Journal, vol XXVII, p. 332.

(1) Une brasse (*fathom*) égale 1,83 mètre. T. M.

(2) Depuis que ce chapitre est écrit, l'auteur a visité deux fois les Chutes du Niagara, en 1841 et 1842. Il a trouvé sur le sommet de l'île Goat les restes d'un dépôt fluviatile, contenant des coquilles fossiles, identiques en espèces, avec celles qui vivent aujourd'hui dans les eaux du Niagara, au-dessus des Chutes, et il a suivi les couches d'eau douce, composées de sable et de gravier, le long du bord du pré-

Digitized by Google

cipice sur la rive droite de la rivière, jusqu'au Whirlpool, à quatre milles ($1\frac{1}{3}$) en aval des Chutes. En ce point, elles ont quarante pieds ($12^m,20$) d'épaisseur, et se trouvent situées à trois cents pieds (plus de 90^m) au-dessus du niveau actuel de la rivière. Elles marquent la hauteur du lit primitif du Niagara, avant l'excavation du grand ravin. M. Lyell évalue plutôt à un pied qu'à un mètre, le taux de la rétrogradation des Chutes sur les quatre derniers milles. Il prouve également que si les Chutes continuent à reculer, elles diminueront de hauteur, et qu'avant d'arriver au lac Erié, elles se frayeront une voie à travers des formations tout-à-fait différentes des roches sur lesquelles elles se précipitent aujourd'hui. Voyez « Proceedings of Geological Society of London » (Procès-verbaux de la Société Géologique de Londres), 1842, N° 85, p. 598, et 1843, N° 92, p. 19. T. M.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

ACTION DE L'EAU COURANTE. — (*Suite.*)

Cours du Pô. — Ce fleuve a plusieurs fois changé de lit. — Digues artificielles du Pô, de l'Adige et de diverses autres rivières d'Italie. — Bassin du Mississipi. — Des sinuosités de ce fleuve et des îles qu'il forme. — Changements observés dans son cours. — Raft de l'Atchafalaya. — Bois flottant. — Formation de lacs nouveaux dans la Louisiane. — Tremblement de terre dans la vallée du Mississipi. — Inondations produites par des glissements de terrain dans les montagnes Blanches. — Débordement d'un lac en Suisse. — Dégâts occasionnés par l'Anio à Tivoli.

Cours du Pô. — Le Pô offre un exemple instructif de la manière dont un grand fleuve porte à la mer les sédiments que lui amènent une multitude de tributaires descendant de hautes chaînes de montagnes. Les changements qui, peu à peu, se sont produits dans la grande plaine de l'Italie septentrionale, depuis les temps de la république

Digitized by Google

romaine, sont très considérables. Plusieurs marais et plusieurs lacs, comme ceux des environs de Plaisance, de Parme et de Crémone, ont graduellement été comblés, tandis que d'autres se sont desséchés naturellement par suite de l'enfoncement du lit de certains fleuves. Le changement du cours d'une rivière est une circonstance qui se répète assez souvent, comme le prouvent entre autres le Serio-Morto, qui jadis se jetait dans l'Adda, et le Pô, qui, lui-même, a souvent dévié de son cours. Postérieurement à l'année 1390, il abandonna une partie du territoire de Crémone, et envahit celui de Parme; son ancien lit, que l'on reconnaît encore aujourd'hui, a été appelé Pô-Morto. Bressello, une des villes qui étaient autrefois sur la rive gauche du Pô, se trouve maintenant sur sa rive droite. Il y a aussi dans le territoire de Parme un ancien canal du Pô, appelé Pô-Vecchio, qui a été abandonné dans le XIIe siècle, lorsqu'un grand nombre de villes furent détruites. Les annales du temps font également mention de plusieurs paroisses, celles entre autres de Vicobellignano, d'Agojolo et de Martignana, qui furent démolies et rebâties ensuite à une plus grande distance du courant destructeur. Dans le XVe siècle, la branche principale rentra de nouveau dans le lit qu'elle avait abandonné, entraînant avec elle une grande île située en face de Ca-

salmaggiore. A la fin du même siècle, le fleuve déserta une seconde fois le canal désigné sous le nom de Pô-Vecchio, entraînant trois rues de Casalmaggiore. En 1471, les moines du monastère de Serviti prirent l'alarme et détruisirent leurs bâtiments, qu'ils allèrent reconstruire à Fontana, où ils en avaient transporté les matériaux. L'église de S.-Rocco fut aussi démolie de la même manière en 1511. Enfin, une fois encore, dans le XVIIe siècle, le Pô changea son cours sur une étendue d'un mille (un peu plus de $\frac{1}{3}$ de lieue) dans la même contrée, et il y causa de grands ravages (*).

Digues artificielles de plusieurs rivières d'Italie. — Pour opposer un obstacle à de telles déviations, on a adopté un système général d'endiguement par suite duquel le Pô, l'Adige et presque tous leurs tributaires sont actuellement maintenus entre des bords artificiels très élevés. La vitesse accélérée qu'acquièrent des courants ainsi contenus leur donne la faculté de transporter à la mer une quantité de matières étrangères bien plus considérable qu'auparavant : aussi les deltas du Pô et de l'Adige ont-ils empiété bien plus rapidement sur l'Adriatique depuis que l'usage des digues est de-

(*) Dell' Antico Corso de Fiumi Po, Oglio, ed Adda, dell' Giovanni Romani. Milan, 1828.

venu presque universel. Mais bien que, dans ce cas, une plus grande quantité de sédiment soit portée à la mer, cela n'empêche pas qu'une partie du sable et du limon qui, dans l'état naturel des choses, serait répandue dans la plaine par les inondations annuelles, ne se dépose sur le fond du lit des rivières, dont la capacité se trouve ainsi diminuée. Il devient alors nécessaire, pour prévenir les inondations qui sans cela pourraient avoir lieu à chaque printemps, d'extraire une partie du dépôt qui s'est formé au fond, et de le reporter sur les bords. Il résulte de l'exhaussement graduel de ces rivières, qu'aujourd'hui elles traversent la plaine sur le sommet de monticules très élevés, comme les eaux qui coulent dans un aqueduc. A Ferrare, la surface du Pô est plus haute que le toit des maisons (*). La grandeur de ces barrières est un sujet de dépense et d'inquiétude toujours croissantes, car il est arrivé quelquefois qu'on s'est trouvé dans la nécessité d'élever les bords de l'Adige et du Pô de près d'un pied (30c) en une seule saison.

L'usage des digues fut adopté pour quelques unes des rivières d'Italie dès le XIIIe siècle. Vers le commencement du XIVe, le Dante, en décrivant, dans le septième cercle de l'Enfer, un ruisseau de pleurs

(*) Prony. Voyez Cuvier, Disc. prélim., p. 146.

Digitized by Google

séparé par des digues d'un désert de sable brûlant, compare ces digues « à celles qui, entre Gand et Bruges, ont été opposées à l'Océan, ou à celles que les habitants de Padoue ont élevées le long de la Brenta pour défendre leurs villas de la fonte des neiges Alpines. »

Quale i Fiamminghi tra Guzzante e Bruggia,
Temendo il fiotto che in ver lor s'avventa,
Fanno lo schermo, perchè il mar si fuggia,
E quale i Padovan lungo la Brenta,
Per difender lor ville e lor castelli,
Anzi che Chiarentana il caldo senta —

Inferno, Canto XV.

Bassin du Mississipi. — Le bassin hydrographique du Mississipi montre, sur la plus grande échelle, l'action que l'eau courante est capable d'exercer à la surface d'un vaste continent. Ce fleuve majestueux prend sa source près du 49e parallèle de latitude nord, et se jette dans le golfe du Mexique sous le 29e. Son cours est de 5,000 milles (1,800') environ, en y comprenant toutes ses sinuosités. Il sort d'un climat vraiment arctique, traverse des régions tempérées, et décharge ses eaux dans celle où prospèrent l'olivier, le figuier et la canne à sucre (*). Aucun fleuve ne présente un exemple plus

(*) Flint's Geography (Géographie de Flint), vol. I, p. 21.

Digitized by Google

frappant de la loi dont nous parlions tout-à-l'heure, savoir, que l'augmentation de volume dans les eaux d'une rivière, loin d'occasionner toujours une augmentation proportionnelle dans sa surface, donne lieu quelquefois au rétrécissement de son canal. En effet, bien que le Mississipi ait un demi-mille ($\frac{1}{5}$ de lieue environ) de large à sa jonction avec le Missouri (*), qui, de son côté, a la même étendue, ces deux fleuves réunis n'ont pas plus de trois quarts de mille ($\frac{1}{4}$ de lieue environ) de largeur, depuis leur confluent jusqu'à l'embouchure de l'Ohio, dont les eaux semblent, en s'ajoutant à celles du Mississipi et du Missouri, en diminuer plutôt qu'en augmenter la surface (**). Le Saint-François, la rivière Blanche, l'Arkansas et la rivière Rouge se déchargent aussi dans le courant principal sans qu'à peine sa largeur en éprouve la moindre augmentation sensible. En arrivant près de la mer, à la Nouvelle-Orléans, il n'a pas tout-à-fait un demi-mille ($\frac{1}{5}$ de lieue environ) de largeur. Sa profondeur est très variable : la plus grande que l'on ait observée est de

(*) Flint dit (vol. I, p. 140) qu'à l'endroit où le Mississipi reçoit le Missouri, il a un mille et demi (un peu plus d'une demi-lieue) de large; mais suivant le capitaine B. Hall, cette opinion est fort erronée. — Travels in North America (Voyages dans l'Amérique du Nord), vol. III, p. 328.

(**) Flint's Geography, vol. I, p. 142.

Digitized by Google

cent soixante-huit pieds (51^{m}) au moment de la haute mer. Quant à la vitesse moyenne de la masse totale de ces eaux, elle a été évaluée diversement par plusieurs observateurs. Suivant quelques uns, elle ne serait pas de plus d'un mille ($\frac{1}{3}$ de lieue environ) par heure (*).

La plaine alluviale où coule ce grand fleuve est bornée à l'est et à l'ouest par de grandes chaînes de montagnes qui longent respectivement l'océan Pacifique et l'Atlantique. Au-dessous de l'embouchure de l'Ohio, la plaine a de trente à cinquante milles (11 à 18^{l}) de large. Passé ce point, elle s'élargit encore, et continue ainsi jusqu'à ce que son étendue ait à peu près triplé. Cette vaste plaine est limitée par des falaises perpendiculaires de trois cents pieds (90^{m}), ou même plus de hauteur, auxquelles on a donné le nom de « *Bluffs.* » Ces falaises sont composées de calcaire, de diverses autres roches, et souvent de terrain d'alluvion. Le Mississipi baigne sur une grande étendue les *Bluffs* orientaux. Quant aux falaises occidentales, il ne vient en contact avec elles en aucun point au-dessous de son confluent avec l'Ohio. Les eaux se portent du côté oriental, parce que toutes les grandes rivières tributaires venant de l'ouest ont rempli ce côté de la

(*) Voyages dans l'Amérique du Nord, par Hall, qui cite Darby, vol. III, p. 330.

Digitized by Google

vallée d'une masse d'argile et de sable disposée en talus. Or, on conçoit, d'après cette direction des eaux, que les *Bluffs* orientaux doivent être minés continuellement, et que le Mississipi doive s'avancer d'une manière incessante, quoique lente, vers l'est (*).

Sinuosités du Mississipi. — Ce fleuve décrit, en parcourant la plaine dont nous venons de parler, des courbes immenses et uniformes. Après avoir tracé un demi-cercle, il est entraîné diagonalement, et avec rapidité, vers l'autre côté de son lit, où il va former, sur la rive opposée, une autre courbe tout-à-fait semblable à la première (**). Ces courbes sont tellement régulières que les bateliers et les Indiens s'en servent pour mesurer les distances. Vis-à-vis de chacune d'elles se trouve toujours une barre de sable dont la partie convexe correspond à la concavité de la courbe opposée (***). De même que plusieurs autres cours d'eau que nous avons déjà décrits, le Mississipi, en augmentant sans cesse la concavité de ses courbes, finit, si l'on peut s'exprimer ainsi, par revenir sur ses pas; de sorte qu'en quelques en-

(*) Geograp. Descrip. of the State of Louisiana (Description Géographique de l'État de la Louisiane), par W. Darby. Philadelphie, 1816, p. 102.

(**) Flint's Geography, vol. I, p. 152.

(***) Ibid.

Digitized by Google

droits, un vaisseau qui a parcouru vingt-cinq ou trente milles (9 ou 11[1]), se trouve ramené, après bien des détours, à un mille (un peu plus de $\frac{1}{3}$ de lieue) de son point de départ. Par suite de ces sinuosités, les eaux se rapprochent quelquefois à tel point qu'il arrive souvent, lors de grandes inondations, qu'elles franchissent la petite langue de terre qui les sépare, et qu'en se précipitant sur ce que l'on appelle le « *cut-off*, » elles isolent une portion du sol. Vers un point désigné sous le nom du « *grand cut-off*, » les vaisseaux n'ont maintenant qu'un demi-mille ($\frac{1}{5}$ de lieue environ) à parcourir pour franchir une distance qui exigeait autrefois un voyage de vingt milles (7[1]) (*).

Dégradation des bords du Mississipi. — Lorsqu'après la saison des inondations, les eaux du fleuve viennent à baisser, elles détruisent les bords d'alluvion qui se trouvent amollis et détrempés par les débordements récents. Quelquefois il arrive que des portions de terre couvertes de bois épais, ayant plusieurs acres d'étendue (1), sont précipitées dans le courant, et que de grandes parties des îles formées à la manière dont nous parlions tout-à-l'heure se trouvent ainsi entraînées.

(*) Flint's Geography, vol. I, p. 154.

(1) Un acre anglais égale 0,405 hectare. T. M

Digitized by Google

« Il y a quelques années, » dit le capitaine Hall, « à l'époque où le Mississipi était régulièrement observé, on comptait toutes les îles qu'il formait depuis le confluent du Missouri jusqu'à la mer; mais chaque saison amène tant de révolutions, soit dans le nombre, soit dans l'étendue et la situation de ces îles, qu'aujourd'hui on a presque entièrement renoncé à faire cette énumération. De grandes îles ont quelquefois complétement disparu; en plusieurs points elles se sont réunies au rivage, ou, pour parler plus exactement, l'intervalle qui les en séparait a été rempli par une multitude de troncs d'arbres cimentés par du limon et différents débris (*). Quand le Mississipi et plusieurs de ses grands tributaires viennent à déborder, les eaux, n'étant plus entraînées par le courant principal, et leur mouvement se trouvant retardé par les broussailles et les arbres qui se rencontrent sur leur passage, déposent le sédiment de limon et de sable dont elles sont abondamment chargées. Il arrive souvent aussi que des îles, en arrêtant la marche des arbres flottants, se trouvent ainsi réunies à la terre ferme, ces amas d'arbres finissant, à la longue, par former avec le limon qui les cimente une masse solide. La portion la plus grossière et la plus

(*) Voyages dans l'Amérique du Nord, vol. III, p. 361.

Digitized by Google

sableuse du sédiment est déposée la première et près des bords. Quant aux molécules les plus fines, elles sont transportées sur les points les plus éloignés du lit de la rivière, et y forment un mélange impalpable qui produit un terrain noir, à la fois onctueux et dur. Le mode suivant lequel s'opère le dépôt de ces divers sédiments fait que, dans les plaines alluviales des rivières en question, le sol est incliné à la manière d'un glacis naturel, et s'abaisse, à partir des bords de la rivière, jusqu'aux falaises qui terminent la grande vallée. Pendant les inondations, la partie la plus haute des bords forme d'étroites bandes de terrain à sec, qui s'élèvent d'un côté au-dessus de la rivière, et de l'autre, au-dessus des pays plats inondés : aussi le Mississipi a-t-il été décrit comme un fleuve coulant sur le sommet d'une longue chaîne

Fig. 15.

a Lit de la rivière. *b* Base des « *bluffs.* »

de montagnes dont la hauteur est de vingt-quatre pieds (7^{m} environ) dans sa partie la plus élevée, et dont le diamètre moyen est de trois milles (1^{l} env.) à sa base. Suivant Flint, toutefois, cette description n'est pas très exacte ; car, malgré l'élévation comparative des bords, la partie la plus profonde du

Digitized by Google

lit de la rivière, représentée en *a* (fig. 15), est à un niveau uniformément inférieur au point le plus bas du terrain d'alluvion situé au pied des *bluffs* (*).

On a dit d'un torrent descendant d'une montagne « qu'il dépose ce qu'il a déplacé, et qu'il entraîne ce qu'il a déposé; » il en est de même du Mississipi, qui, par suite du changement continuel de son cours, entraîne, pendant une grande partie de l'année, des étendues considérables de terrains couverts d'alluvions, qui se sont graduellement accumulées lors des inondations antérieures, et entraînera dans un temps éloigné les matières qu'il dépose aujourd'hui pendant les inondations de printemps.

Rafts. — Une des particularités les plus remarquables des grands fleuves de cette partie de l'Amérique, c'est la fréquente accumulation des masses d'arbres flottants appelées *rafts*, qui ont été arrêtées dans leur marche par des *snags* (chicots), ou *planters*, par des îles, des hauts-fonds, ou d'autres obstacles, et se sont amoncelées de manière à former des ponts naturels qui embrassent toute la largeur du courant. Parmi les plus grands *rafts* que l'on connaisse, nous devons signaler celui d'un des bras du Mississipi, l'Atchafalaya, qui, certainement, formait jadis le lit

(*) Flint's Geography, vol. I, p. 151.

Digitized by Google

de la rivière Rouge, quand le Mississipi prit son cours vers le golfe du Mexique par un canal particulier. La ligne que suit l'Atchafalaya, coïncidant avec la direction générale du Mississipi, entraîne une grande quantité des bois amenés du Nord chaque année. Les arbres qui, antérieurement à 1816, furent ainsi transportés dans l'espace de trente-huit ans, formèrent un *raft* continu dont la longueur était de dix milles (3 l $\frac{1}{2}$ environ) au moins, sur 220 mètres de largeur et huit pieds (2^{m}.43) de profondeur. Cette masse s'élevait et s'abaissait suivant le mouvement de l'eau; ce qui, toutefois, n'empêchait pas qu'elle ne fût couverte d'arbres et d'arbustes verts, et que, durant l'automne, elle n'offrît la plus riche variété de fleurs. Elle continua à augmenter d'étendue jusqu'en 1835 environ, époque où plusieurs des arbres qui s'étaient developpés à sa surface atteignirent une hauteur de près de soixante pieds (18^{m}). Des mesures furent prises alors par l'État de la Louisiane pour détruire le *raft*, afin de rétablir la navigation, ce qui fut effectué, mais non sans beaucoup de peine, dans l'espace de quatre années.

Les *rafts* que l'on observe sur la rivière Rouge ne sont pas moins remarquables. Dans quelques parties du cours de cette rivière, on rencontre des accumulations de cèdres; en d'autres points, des amas de pins considérables. Il y a aussi sur la Washita,

Digitized by Google

principal tributaire de la rivière Rouge, un *raft* qui, en recouvrant sa surface sur une étendue de dix-sept lieues, interrompt la navigation. Ce pont naturel a été décrit, en 1804, comme offrant l'ensemble des végétaux qui vivaient alors dans la forêt voisine, sans en excepter les plus grands arbres. Le courant était si complétement dissimulé par la masse qui le recouvrait, qu'on pouvait, en quelques endroits, le traverser sans se douter de son existence (*).

Bois flottant. — Indépendamment du nombre immense de pieds cubes de bois flottant qui se trouve arrêté par les *rafts*, de grands dépôts se forment incessamment à l'extrémité du delta dans le golfe du Mexique. « Malheureusement pour la navigation du Mississipi, » observe le capitaine Hall, « quelques uns des plus grands arbres, après avoir été renversés de leur position naturelle, entremêlent leurs racines avec les diverses matières qui se trouvent au fond de la rivière, où ils restent, pour ainsi dire, ancrés dans le limon. La force du courant imprime nécessairement à leurs sommets une tendance à s'abaisser; puis, en coulant au-dessus d'eux, ce courant

(*) Navigator, p. 263, Pittsburg, 1821.

les a bientôt privés de leurs feuilles et de leurs branches. Ces corps immobiles, qui constituent ce qu'on nomme des *snags*, sont extrêmement dangereux pour les bâtiments à vapeur qui remontent le courant. Cachés sous les eaux de ce courant, où ils sont placés comme des lances en arrêt, ils présentent directement à l'avant des bateaux remontants leur extrémité la plus aiguë. La plupart de ces *snags* si redoutables conservent une immobilité telle, qu'on ne peut reconnaître leur présence qu'à l'aide d'un certain bouillonnement qui se produit au-dessus du point où ils sont fixés, mais si faiblement, que des yeux inexpérimentés ne peuvent l'apercevoir. Quelquefois, cependant, ces arbres oscillent de haut en bas, laissant alternativement voir leur tête au-dessus de la surface, et la cachant au-dessous (*). » Le danger que présentent ces obstacles est si grand, que presque tous les bateaux destinés à naviguer sur le Mississipi sont construits d'après un plan particulier, dans le but de les garantir de tout accident funeste (**).

(*) Voyages dans l'Amérique du Nord, vol. III, p. 362.

(**) « Les bateaux sont pourvus, dit le capitaine Hall, de ce que l'on appelle une *snag-chamber*, avant-corps formé de planches très fortes, bien jointes, et dans lequel l'eau peut pénétrer sans se répandre dans le reste de la cale. Cette

La prodigieuse quantité de bois que charrient annuellement le Mississipi et ses tributaires offre un double intérêt sous le rapport géologique; elle explique, d'une part, comment s'est déposée la grande abondance de matières végétales qui, dans le cours ordinaire de la nature, s'accumulent dans les couches formées soit dans la mer, soit dans les estuaires, et atteste, de l'autre, la destruction constante du sol, ainsi que le transport des matières solides à des niveaux plus bas, dû à la tendance de certaines rivières à changer leur cours. Tous les arbres ainsi transportés doivent avoir mis un grand nombre d'années, quelques uns même plusieurs siècles, pour atteindre leur entière croissance : aussi n'est-ce qu'après être resté longtemps sans éprouver aucun dérangement que le sol sur lequel ils se sont développés a fini par être déchiré et entraîné. Cependant, malgré cette destruction incessante du sol, et quoique ces arbres soient continuellement déracinés, la région qui fournit ces masses inépuisables de bois flottant est couverte de forêts majestueuses, et est, pour ainsi dire, sans égale sous le

construction présente, au fond, deux compartiments distincts, juxta-posés; de sorte que s'il arrive que le bâtiment à vapeur vienne à frapper contre un *snag*, et que, par suite, il se fasse, en dessous, un trou à son avant, cette chambre seule se remplit d'eau. » Voyages dans l'Amérique du Nord, vol. III, p. 363.

Digitized by Google

rapport de la force avec laquelle s'y développe la vie animale et végétale.

Les riches pâturages des plaines alimentent d'innombrables troupeaux de bêtes fauves et de bisons. Parmi les animaux carnassiers qu'on y a observés, se trouvent le puma, le loup et le renard. Les eaux renferment une immense quantité d'alligators et de tortues, et leur surface est couverte de millions d'oiseaux aquatiques, émigrant chaque année jusqu'aux limites comprises entre les lacs du Canada et les rivages du golfe du Mexique. Là, le pouvoir de l'homme commence à se faire sensiblement apercevoir, et peu à peu le désert se trouve remplacé par des villes, par des vergers et par des jardins. Aujourd'hui, comme une cité mouvante, le bateau à vapeur doré marche avec assurance contre le courant, qu'il redescend ensuite avec une rapidité prodigieuse, à travers les solitudes des forêts et des prairies. Déjà la population florissante de la grande vallée surpasse celle que comptaient les treize États-Unis au moment où ils proclamèrent leur indépendance, et où ils furent, après un combat sanglant, séparés du pays auquel ils appartenaient (*). Tel est l'état d'un continent où chaque année plus de mille torrents transportent les rochers et les

(*) Flint's Geography, vol. I.

Digitized by Google

arbres des montagnes aux plaines, et où le sable, ainsi que les sédiments les plus fins, est entraîné à la mer par un vaste courant, avec les débris d'une multitude de forêts et les ossements des animaux qui ont péri dans les inondations. Quand ces matériaux atteignent le golfe, loin de rendre les eaux impropres au développement de la vie chez les animaux aquatiques, elles semblent, au contraire, rendre l'Océan plus productif encore. C'est, du reste, ce qui arrive généralement lorsqu'un grand fleuve amène à la mer des quantités considérables de substances organiques et de substances minérales. Cependant, certains géologues, quand ils aperçoivent des dépouilles continentales amoncelées en couches successives, et confusément mélangées avec des débris de poissons, ou bien entremêlées de coquilles et de coraux brisés, imaginent que ce sont les indices d'un état convulsif, et non ceux d'un état tranquille et uniforme de notre planète. Ils lisent dans ces phénomènes la preuve d'un désordre chaotique et de révolutions souvent répétées, au lieu d'y voir un témoignage qui atteste que jadis la surface du globe était tout aussi habitable que le sont les contrées les plus fertiles et les plus délicieuses aujourd'hui occupées par l'homme. De plus, non contents de perdre de vue, dans leurs spéculations sur les révolutions du temps passé, l'analogie du cours ac-

Digitized by Google

tuel de la nature, souvent ils tirent, relativement à l'ancien ordre des choses, des conséquences tout-à-fait opposées à celles auxquelles les conduirait infailliblement une saine induction des faits.

Formation de lacs dans la Louisiane. — Une autre particularité frappante, et qui témoigne des changements actuellement en voie de s'accomplir, se fait remarquer dans le bassin du Mississipi : je veux parler de la formation, par des causes naturelles, de plusieurs grands lacs, et du desséchement de quelques autres. C'est surtout dans le bassin de la rivière Rouge, dans la Louisiane, que le nombre de ces lacs est considérable. Le plus grand de tous, que l'on nomme le lac Bistineau, a plus de *trente milles* (près de 11[1]) de long ; sa profondeur moyenne est de *quinze* à *vingt* pieds ($4^m,50$ à 6^m). Dans les parties les plus profondes, on voit des cyprès de toutes grandeurs, mais qui sont morts. La plupart d'entre eux ont eu le sommet brisé par le vent, quoique se tenant debout sous l'eau. Cet arbre résiste plus longtemps qu'aucun autre à l'action de l'air et de l'eau, et vivrait un temps vraiment extraordinaire, s'il n'était submergé pendant toute l'année. Suivant Darby, le lac Bistineau doit, ainsi que le lac Cado, le lac Natchitoches, le Black Lake, le Spanish Lake, et plusieurs autres encore, sa formation à l'élévation gra-

Digitized by Google

duelle du lit de la Rivière Rouge, où des matières alluviales se sont accumulées en assez grande quantité, non seulement pour en exhausser le canal, mais aussi pour que, pendant la saison des inondations, ses eaux pénètrent dans les embouchures de plusieurs affluents, et convertissent en lacs quelques parties de leur cours. En automne, lorsque le niveau de la Rivière Rouge se trouve abaissé de nouveau, les eaux se précipitent en arrière, et plusieurs de ces lacs sont ainsi transformés en prairies fertiles, traversées en tous sens par des courants (*). Il y a ainsi un flux et un reflux périodiques entre la Rivière Rouge et quelques uns de ces bassins qui sont simplement des réservoirs alternativement vides et remplis comme le sont, par l'effet des marées ordinaires, des espaces voisins de la mer, à cela près, toutefois, que, dans le premier cas, la submersion des portions de terre envahies par les eaux se prolonge continûment pendant plusieurs mois; tandis que, dans l'autre, elle se répète deux fois par vingt-quatre heures. Quelquefois il est arrivé qu'un *raft* de bois ayant été jeté, par la Rivière Rouge, en travers de quelqu'une des ouvertures de ces canaux, les lacs deviennent alors, comme le Bistineau, des réservoirs constamment remplis d'eau.

(*) Darby's Louisiana, p. 33.

Digitized by Google

Dans ce cas, leur niveau est sujet à une élévation et à une dépression annuelles, dues au débordement de la rivière principale, qui, lorsqu'elle atteint une certaine hauteur, passe par-dessus la barre. Cela rappelle la manière dont les dunes qui, sur les côtes du Norfolkshire ou du Suffolkshire, ferment l'entrée de quelques estuaires, ont souvent été franchies par la mer quand, au moment d'une forte marée ou d'un orage, elle vient à rompre la barrière et à inonder de nouveau l'intérieur.

Je tiens de M. Featherstonhaugh que les plaines de la Rivière Rouge et de l'Arkansas sont si basses et si plates, que chaque fois que le Mississipi dépasse de trente pieds (9^{m} environ) son niveau ordinaire, les eaux de ces deux grands tributaires qui contiennent un sédiment rougeâtre provenant de la décomposition d'un porphyre rouge, se trouvent refoulées en arrière et submergent une vaste étendue de pays.

Après la grande inondation qui eut lieu en 1833 par suite du débordement de l'Arkansas, il se forma près de la montagne Mammelle un immense marais de 30,000 acres (12140 hectares) de surface. Ce marais, parsemé de grandes lagunes où était situé l'ancien lit de la rivière, renferme une multitude de cyprès, de peupliers et d'autres arbres de grande taille, qui, bien que morts pour la plupart, sont encore sur pied. Leurs troncs paraissent peints en rouge,

Digitized by Google

à partir du sol jusqu'à quinze pieds (4m,5) au-dessus. A cette hauteur, une ligne de niveau, s'étendant sur toute la forêt, indique le point auquel les eaux se sont élevées pendant la dernière inondation (*).

Mais peut-être que la cause à laquelle nous avons attribué l'origine récente de ces lacs n'est pas la seule qui ait concouru à leur formation. De nos jours même, en 1812, des mouvements souterrains ont changé les niveaux relatifs de diverses parties du bassin du Mississipi, situées à cent lieues environ au N.-E. du lac Bistineau. La grande vallée qui, depuis l'embouchure de l'Ohio jusqu'à celle du Saint-François, comprend une étendue de trois cents milles (100l environ) de longueur, et dont la surface excède tout le bassin de la Tamise, éprouva aussi, vers la même époque, un bouleversement tel que de nouvelles îles apparurent dans la rivière, et que des lacs furent formés dans la plaine d'alluvion. Plusieurs d'entre eux avaient jusqu'à *vingt milles* (7l environ) *d'étendue*. Vingt ans après, on trouva de vieux arbres submergés dans deux de ces lacs, le lac Reelfoot et le lac Obion (**).

Des faits analogues ont été observés dans d'autres parties de l'Amérique du Nord. En 1807, les capi-

(*) Featherstonhaugh, Geol. Report (Rapport Géologique) Washington, 1835, p. 84.

(**) Usher Silliman's Journal, vol. XXXI, p. 295.

Digitized by Google

taines Clark et Lewis trouvèrent une forêt de pins ensevelie sous les eaux de la Colombia. Ces arbres, qui étaient debout, offraient une apparence telle, que les deux voyageurs que nous venons de citer pensèrent qu'ils n'avaient dû être submergés que pendant vingt années environ (*). Plus récemment encore, en 1835, le Rév. M. Parker observa dans la même rivière (latitude, 45° nord, longitude, 121° ouest), en certains points où l'eau avait plus de vingt pieds (6m) de profondeur, des arbres occupant leur position naturelle. Leurs sommets avaient disparu; mais entre la marque des hautes eaux et celle des basses eaux, les troncs n'étaient que partiellement détruits; circonstance qui prouve que leur submersion avait eu lieu à une époque comparativement récente. La transparence de l'eau permettait d'apercevoir les racines qui s'étendaient exactement comme si elles avaient crû dans leur sol natif; et d'après l'espace que les arbres recouvraient, on a jugé que le phénomène observé résultait de l'affaissement lent et tranquille d'une portion de terre de plus de vingt milles (7l environ) de longueur, sur plus d'un mille ($\frac{1}{3}$ de lieue à peu près) de large (**).

(*) Travels, etc., vol. II, p. 241.

(**) Tour beyond the Rocky Mountains (Voyage au-delà des Montagnes Rocheuses), p. 132.

INONDATIONS, DÉBORDEMENTS DE LACS, ETC.

L'influence que dans le cours des siècles l'eau courante peut exercer sur le creusement et l'élargissement d'une vallée dépend moins du volume et de la vitesse du courant qui y coule ordinairement que du nombre et de la puissance des obstacles qui, à différentes époques, se sont opposés à son libre passage. Si un torrent, quelque petit qu'il soit, se trouve retenu par un obstacle puissant, ce ne seront pas les dimensions du torrent qui régleront la violence de la débâcle, mais bien la grandeur de la vallée au-dessus de la barrière, et la déclivité qu'elle présente. La cause la plus générale des inondations locales doit être attribuée à des glissements de terrain, à des éboulements, ou à des avalanches, ainsi qu'on les désigne quelquefois, lorsque de grandes masses de roche, de terre, ou de glace et de neige, sont précipitées dans le lit d'une rivière dont les bords escarpés ont été renversés par le choc d'un tremblement de terre, ou minés soit par des sources, soit par quelque autre cause. Parmi les catastrophes terribles de ce genre qui ont été enregistrées, et qui pourraient remplir des volumes, je choisirai seulement quel-

Digitized by Google

ques exemples des plus récents et des plus authentiques.

Inondations causées par des éboulements. 1826. — Dans les Montagnes Blanches (New-Hampshire), deux saisons sèches furent suivies d'une pluie considérable qui tomba le 28 août 1826. En même temps, une multitude de pierres et de fragments de roches, dont plusieurs étaient assez gros pour remplir une chambre de grandeur ordinaire, se détachèrent des déclivités escarpées qui s'élèvent d'une manière abrupte des deux côtés du Saco, entraînant pêle-mêle dans leur chute, arbustes, arbres et forêts entières, avec le sol qui les supportait. Il n'existait aucune tradition d'éboulements semblables dans les temps anciens, et le développement des arbres de la forêt sur les flancs des collines indiquait incontestablement que, pendant un long intervalle, rien de pareil n'était arrivé. Une de ces masses mouvantes, dont la largeur moyenne était d'un quart de mille ($\frac{1}{10}$ de lieue à peu près), parcourut, en glissant, un espace de trois milles (1' environ). Les excavations naturelles commençaient généralement dans une tranchée de quelques mètres de profondeur sur quelques *rods*, ou perches carrées de largeur [1]; mais à mesure

(1) La perche carrée anglaise (*rod*) équivaut à 25,29 mètres carrés. T. M.

Digitized by Google

qu'elles approchaient de la base des montagnes, elles allaient en s'élargissant et en s'approfondissant, jusqu'à ce qu'elles formassent de vastes précipices. Au pied de ces ravins se trouvait une masse énorme de ruines formée de gravier, de roches, de terre et d'arbres transportés. Des forêts de sapinettes du Canada avaient été abattues aussi facilement qu'auraient pu l'être des champs de blé; car, là où elles faisaient résistance, le torrent de boue et de fragments de roches s'accumulait jusqu'à ce qu'il eût acquis une force suffisante pour surmonter l'obstacle qui s'opposait à son passage.

Les vallées de l'Amonoosuck et du Saco n'offraient, sur une étendue de plusieurs milles, qu'une longue scène de désolation. Tous les ponts de ces deux rivières étaient détruits, ainsi que ceux de leurs tributaires. En quelques points, le chemin se trouvait creusé de quinze à vingt pieds (5 à 6^{m}). Ailleurs, il était couvert de terre, de débris de roches et d'arbres amoncelés à une hauteur égale à cette dernière profondeur. Pendant plusieurs semaines après l'inondation, l'eau continua à charrier autant de terre qu'elle pouvait en contenir, sans être convertie en boue, et dans plusieurs localités on retrouvait des marques indiquant que de chaque côté de la vallée elle s'était élevée à plus de vingt-cinq pieds (7^{m},6) au-dessus de son niveau ordinaire. Beaucoup de

Digitized by Google

moutons et d'autres bestiaux furent emportés par le courant, et neuf personnes de la famille Willey, qui, par frayeur, avaient abandonné leur maison, furent noyées sur les bords du Saco. Plus tard, on retrouva près de la rivière sept cadavres, appartenant à cette famille, mutilés et enfouis sous des amas de bois transportés et de débris provenant des montagnes voisines (*). Suivant le professeur Hubbard, onze ans après l'événement, les canaux profonds dont l'excavation était due en grande partie aux avalanches de boue et de pierres qui s'y étaient précipitées, formaient encore, avec les énormes monceaux de cailloux et de blocs de granit accumulés dans la rivière, un effet des plus pittoresques (**).

Mais ces catastrophes sont presque insignifiantes, si on les compare à celles du même genre qu'occasionnent les tremblements de terre quand il arrive que, sur une étendue de plusieurs milles, les montagnes qui limitent une vallée sont renversées et précipitées dans le fond de cette vallée. Je m'étendrai peu, quant à présent, sur ce sujet; me proposant d'y revenir lorsque je traiterai avec détail des tremblements de terre. Je me bornerai à citer ici un exemple récent d'inondation causée par

(*) Silliman's Journal, vol. XV, N° 2, p. 216, Jan. 1829.
(**) Ibid., vol. XXXIV, p. 115.

Digitized by Google

le débordement d'un lac accidentel ou temporaire, événement dont les circonstances ont été décrites par de savants observateurs avec une exactitude peu ordinaire.

De l'inondation qui a eu lieu, en 1818, *dans la vallée de Bagnes.* — La vallée de Bagnes est une des plus grandes de celles que forment, au-dessus du lac de Genève, les embranchements latéraux de la principale vallée du Rhône. En 1818, sa partie supérieure fut convertie en lac par suite de l'engorgement d'un passage étroit où, en se précipitant d'un glacier élevé dans le lit de la Dranse, des avalanches de neige et de glace s'étaient accumulées. Comme pendant l'hiver, lorsque la gelée est continue, il coule à peine assez d'eau courante dans le lit de cette rivière pour entretenir un canal ouvert, la barrière de glace est restée entière jusqu'à la fonte de neiges, qui eut lieu au printemps. A cette époque, un lac d'une demi-lieue de longueur environ, se forma au-dessus. En quelques points, il atteignit une profondeur de près de deux cents pieds (60^{m}), et une largeur de sept cents environ (plus de 200^{m}). Pour empêcher, ou tout au moins pour diminuer les accidents que faisait appréhender la rupture subite de la barrière, on pratiqua dans la glace, avant que les eaux se fussent élevées à une grande hauteur,

Digitized by Google

une galerie artificielle de 700 pieds de long. Quand ensuite les eaux s'accumulèrent et commencèrent à couler par ce conduit, elles firent fondre la glace et augmentèrent ainsi la profondeur de leur canal, jusqu'à ce que la moitié à peu près de l'eau que contenait le lac se fût lentement écoulée. Enfin, aux approches de la chaude saison, la partie centrale de la masse de glace restante s'enfonça avec un bruit épouvantable, et en une demi-heure le lac fut entièrement vidé. Dans leur chemin, les eaux eurent à franchir plusieurs gorges étroites, à chacune desquelles elles s'élevaient à une grande hauteur, débordant alors avec une fureur nouvelle dans le bassin voisin, et entraînant roches, forêts, maisons, ponts et terres labourées. Le torrent ressemblait, dans la plus grande partie de son cours, à une masse mouvante de roches et de limon, plutôt qu'à un courant d'eau. Quelques fragments de roches granitiques que, d'après leur grosseur, on pouvait sans exagération comparer à des maisons, furent arrachés d'un terrain d'alluvion plus ancien, et transportés à un quart de mille ($\frac{1}{10}$ de lieue environ) de distance. Un de ces fragments déplacés avait soixante pas de circonférence (*). La vitesse de l'eau, dans la première partie de sa course, était de trente-trois pieds (10^{m}) par

(*) Ce bloc fut mesuré par le capitaine B. Hall, de la Marine Royale.

Digitized by Google

seconde, lesquels furent réduits à six (1m,80) avant d'atteindre le lac de Genève, où elle arriva en six heures et demie, après avoir parcouru un espace de quarante-cinq milles (16') (*).

Ce torrent laissa derrière lui, sur les plaines de Martigny, des milliers d'arbres déracinés, et un grand nombre de bâtiments en ruines ; quelques unes des maisons de cette ville furent entièrement remplies de boue jusqu'au second étage. Après s'être répandu dans la plaine de Martigny, il entra dans le Rhône, et cessa dès lors d'occasionner d'autres ravages. Seulement, à la distance de trente milles (11' environ), on retrouva plus tard les cadavres de quelques hommes qui avaient été noyés au-dessus de Martigny ; ils flottaient sur la rive la plus éloignée du lac de Genève, près de Vevey.

Les eaux chargées de vase et de débris de roche, en s'échappant de ce lac temporaire, parcoururent les quatre premiers milles (1' $\frac{1}{2}$) de leur course avec une vitesse de vingt milles (7') par heure; et M. Escher, ingénieur, calcula que le volume d'eau fourni par le torrent était de 300,000 pieds cubes (8,500 mètres cubes environ) par seconde, quantité cinq fois plus grande que

(*) Voyez dans le Journal Phil. d'Edimbourg, vol. I, p. 187, le récit de l'inondation qui eut lieu en 1818 dans le val de Bagnes. Ce récit est tiré du Mémoire de M. Escher, et accompagné d'une coupe.

Digitized by Google

celle de l'eau qui coule dans le Rhin au-dessous de Bâle. Or, si une partie du lac n'avait pas été graduellement épuisée, le volume du torrent eût été à peu près du double, et il eût approché de celui de quelques uns des plus grands fleuves de l'Europe. Il est donc évident que lorsqu'on cherche à évaluer la force d'excavation qu'une rivière peut avoir exercée dans une vallée, la question la plus importante ne consiste ni dans le volume du courant ni dans les niveaux actuels de son lit, ni même dans la nature des roches sur lesquelles il coule, mais dans la probabilité d'une suite d'inondations ayant eu lieu postérieurement à l'époque où l'on peut croire que la vallée fut élevée au-dessus du niveau de la mer.

Pendant plusieurs mois après la débâcle de 1818, la Dranse n'ayant point de canal fixe, changeait continuellement de position, allant tantôt d'un côté de la vallée, et tantôt de l'autre. Elle entraînait les ponts nouvellement construits, minait les maisons, et continuait à rouler autant de matières terreuses que ses eaux pouvaient en tenir en suspension. Visitant cette vallée quatre mois après l'inondation, je fus témoin de la destruction d'un pont et du déchaussement partiel d'une maison. La plus grande partie de la barrière de glace était alors debout, et présentait des pentes verticales de cent cinquante pieds (46^{m}) de haut, comme les ravins coupés par

Digitized by Google

des rivières, que l'on observe dans les courants de lave de l'Etna ou de l'Auvergne.

On sait que des inondations exactement semblables, et dues à la même cause, ont eu lieu à d'anciennes époques dans la même région. Ainsi, en 1595, un lac déborda, et ses eaux, descendant avec une violence irrésistible, détruisirent la ville de Martigny, où périrent soixante à quatre-vingts personnes. Cinquante ans auparavant, cent quarante personnes avaient été noyées dans une inondation pareille.

De l'inondation qui eut lieu à Tivoli en 1826. — Je terminerai ce qui me reste à dire sur ce sujet par un dernier exemple emprunté à une terre fertile en souvenirs classiques, l'ancienne Tibur. Cet exemple, comme tous ceux qui viennent d'être cités, date du siècle actuel. On se rappelle que Pline le Jeune décrit un débordement de l'Anio qui occasionna la destruction d'un grand nombre de bois, de roches, de maisons, de villas somptueuses et d'ouvrages d'art (*). Ce « courant fougueux, » ainsi que l'appelait Horace avec tant de vérité, est souvent resté pendant quatre ou cinq siècles consécutifs dans ses limites naturelles ; mais ensuite, il a, après ce long intervalle de repos, et à diverses époques, inondé de nouveau ses rives, et élargi

(*) Lib. VIII, Epist. 17.

Digitized by Google

son lit. La dernière de ces catastrophes arriva le 15 novembre 1826, après des pluies considérables, telles que celles qui, en Écosse, donnèrent lieu aux inondations dont nous avons parlé plus haut. Il paraît que les eaux avaient aussi été arrêtées par une digue artificielle qui les sépara en deux parties, à une petite distance au-dessus de Tivoli. S'étant frayé un passage à travers cette digue, elles laissèrent le canal gauche à sec, et se précipitèrent de tout leur poids sur le côté droit, où, dans l'espace de peu d'heures, elles attaquèrent par la base une haute falaise, et élargirent de quinze pas environ le lit de la rivière. Sur cette hauteur se trouvait l'église de Sainte-Lucie, et trente-six maisons de la ville de Tivoli, qui furent toutes entraînées par le courant, offraient, à mesure qu'elles s'enfonçaient dans le torrent rugissant, la scène la plus horrible de destruction, aux habitants placés sur la rive opposée. Les fondations étaient graduellement emportées, et chacun des bâtiments, dont quelques uns consistaient en édifices d'une hauteur considérable, était d'abord traversé par de nombreuses déchirures qui, bientôt, devenaient de larges fissures, jusqu'à ce qu'enfin les toits, en s'écroulant avec un fracas épouvantable, fissent tomber les murs, qui se trouvaient ainsi lancés dans la cataracte (*).

(*) Ce récit me fut fait à Tivoli même, où je me trouvais en

L'action destructrice du torrent se fit sentir jusqu'à 200 mètres du précipice sur lequel était bâti le beau temple de Vesta ; mais, heureusement, ces précieux restes des temps anciens furent épargnés, tandis que les ruines de plusieurs édifices modernes furent précipitées dans l'abîme.

On se rappelle que, dans la mythologie païenne, Vesta représentait l'immobilité de la terre : aussi lorsqu'Aristarque de Samos enseigna le premier que la terre tournait à la fois sur son axe et autour du soleil, fut-il publiquement accusé d'impiété « pour déranger ainsi l'immortelle Vesta de sa place » Playfair observe que quand Hutton émit son opinion sur l'instabilité de la surface du globe ; et qu'il représenta les continents que nous habitons comme étant le théâtre de changements et de mouvements incessants, ses adversaires, qui les regardaient comme à l'abri de toute altération, l'attaquèrent aussi en dirigeant contre lui des accusations fondées sur les préjugés religieux (*). On peut en appeler au pouvoir d'érosion de l'Anio, comme venant à l'appui d'un des points les plus controversés de la théorie Huttonnienne ; et si le règne des augures n'était point passé, les géo-

1829, par des personnes qui avaient été témoins de l'événement.

(*) Illustr. of Hutt. Theory (Explication de la théorie de Hutton), § III, p. 147.

logues modernes, adorateurs de Vesta, pourraient regarder la dernière catastrophe comme un mauvais présage. Quoi qu'il en soit, nous recommanderons aux dévots partisans de cette déesse de ne pas perdre de temps pour faire leur pèlerinage à sa châsse, car il se pourrait que la prochaine inondation ne respectât pas son temple.

CHAPITRE III.

DU TRANSPORT DE MATIÈRES SOLIDES PAR LES GLACES.

Du pouvoir de transport de la glace formée dans les rivières. — Des roches annuellement entraînées dans le Saint-Laurent par ses tributaires. — Des effets produits par la marée dans l'estuaire de ce fleuve. — Glace de fond ; son origine et son pouvoir de transport. — Glaciers. — Théorie de leur mouvement descendant. — De la non-stratification des moraines. — Champs de glaces couverts de limon et de pierres. — Limites des glaciers et des champs de glaces. — Des effets qu'ils produisent sur le fond de la mer quand ils viennent à échouer. — De l'empilement des glaces de côte. — Des blocs erratiques entraînés par la glace sur la côte du Labrador. — Blocs déplacés par les glaces sur la mer Baltique. — Mise à sec de blocs erratiques sous-marins par suite du soulèvement du fond de la mer.

Le pouvoir que possède l'eau courante de transporter, à de grandes distances, du sable, du gravier et des fragments de roches, se trouve considérablement augmenté dans les régions où, pendant une

Digitized by Google

partie de l'année, il gèle avec une intensité suffisante pour convertir l'eau en glace, soit à la surface, soit au fond des rivières.

Ce sujet peut être considéré sous trois points de vue différents, savoir : 1° la faculté que donnent aux courants les glaces de surface et de fond de transporter à distance des pierres et du gravier ; 2° l'action qu'exercent les glaciers relativement au transport des blocs erratiques, ainsi qu'au polissage et au striage des roches ; 3° enfin, le flottage dans la mer de masses de glaces chargées de matières solides, et l'entraînement des champs de glace et des glaces de côte.

Glaces de rivière. — On peut voir souvent, sur le Tay, en Écosse, des cailloux et de petits fragments de roches entremêlés avec la glace, et flottant ainsi chaque année jusqu'à l'embouchure de cette rivière. Bien qu'il soit très probable que des observations analogues puissent être faites sur presque toutes les grandes rivières d'Angleterre et d'Écosse, il y a tout lieu de croire que le principal déplacement des pierres et des cailloux adhérents à la glace s'opère sous l'eau, par conséquent hors de notre portée ; car, quoique la pesanteur spécifique de la masse ainsi formée puisse déterminer son enfoncement, il se peut néanmoins qu'elle reste assez

légère pour qu'un faible courant suffise pour la supporter. De plus, la glace se dissout très lentement l'hiver dans le fond des rivières, l'eau s'y trouvant souvent presque au point de congélation, ainsi qu'on le verra tout-à-l'heure, lorsque j'en viendrai à traiter de la glace de fond.

Quand on traverse l'Europe sous les latitudes de la Grande-Bretagne, on trouve les hivers plus rigoureux et les rivières gelées d'une manière plus régulière. M. Larivière rapporte qu'étant, en 1821, à Memel sur la Baltique, au moment de la débâcle du Niémen, il vit une masse de glace de trente pieds (9m) de long, qui, après avoir descendu le courant, avait été jetée sur le rivage. Au milieu de cette masse était un fragment triangulaire de granit, d'un mètre de diamètre environ, et ressemblant, sous le rapport de la composition, au granit rouge de Finlande (*).

Lorsque, dans l'hémisphère septentrional, des rivières coulent du sud au nord, c'est à la partie supérieure de leur cours que la glace se rompt d'abord; et il arrive souvent que les eaux débordées atteignent, en transportant de grands fragments de glaces, certaines parties du courant qui sont encore gelées; c'est ainsi qu'ont lieu fréquemment des inondations considérables occasionnées

(*) Consid. sur les Blocs Errat., 1829.

Digitized by Google

par les obstacles qui se rencontrent sur le chemin des eaux descendantes, comme on l'a vu pour le Mackensie dans l'Amérique du Nord ; pour l'Irtish, l'Obi, le Jéniséi, la Léna, et diverses autres rivières de Sibérie, dont j'ai eu occasion de parler déjà. (*Voyez* page 240 de la 1re partie.) Un engorgement partiel de ce genre a eu lieu récemment (janvier, 31, 1840), dans la Vistule, à un mille et demi ($\frac{1}{2}$) au-dessus de la ville de Dantzick, où la rivière, arrêtée par des glaces empilées, fut forcée de suivre un nouveau cours sur sa rive droite. En peu de jours elle se creusa, à travers des collines sablonneuses de quarante à soixante pieds (12 à 18m) de haut, un lit profond et large de plusieurs lieues de longueur.

Dans le Canada, sous une latitude où le froid de l'hiver est très intense, quoique cette latitude corresponde à celle de la France centrale, divers tributaires du Saint-Laurent commencent à dégeler dans la partie supérieure de leur cours, tandis que la partie inférieure reste gelée ; par suite, de grandes plaques de glace deviennent libres, et tombent sur celle qui se trouve au-dessous et qui n'a point été rompue. Alors commence ce que l'on appelle l'empilement des fragments transportés ; — arrangement qui consiste dans la superposition d'un grand nombre de plaques qui glissent successivement les unes

Digitized by Google

sur les autres, jusqu'à ce qu'une haute pile se trouve ainsi formée, et que le tout, gelé ensemble, soit poussé en avant par la force des eaux et des glaces flottantes. Ainsi mise en mouvement, cette masse non seulement entraîne des blocs erratiques, mais elle arrache aussi des roches situées au bord des rivières, d'énormes fragments qui se projettent en avant. C'est de cette manière que plusieurs arches, construites en maçonnerie très solide, qui, jusqu'en 1836, avaient supporté un pont de bois sur le Saint-Maurice, dont les eaux se déchargent dans le Saint-Laurent, près de la ville des Trois-Rivières, par 46° 20′ de latitude, furent jetées bas et entraînées par la glace dans ce dernier fleuve. A Montréal, des quais et des pierres à bâtir de trente à cinquante pieds carrés ($2^{m.car}$,8 à $4^{m.car}$,6) ont été emportés de la même manière. Le capitaine Bayfield rapporte que des ancres placées en-deçà de la marque des hautes eaux, pour garantir les vaisseaux halés sur le rivage pendant l'hiver, doivent être séparées de la glace à l'approche du printemps, si on ne veut les exposer à être entraînées. En 1834, l'ancre d'affourche du Gulnare, pesant un demi-tonneau, fut transportée à une distance de quelques mètres par la glace. Elle était fixée d'une manière si solide, que la force de la glace mouvante fit rompre une chaîne-câble de la grosseur convenable pour un

Digitized by Google

brick de dix canons, et qui avait maintenu le Gulnare pendant les plus grands vents dans le golfe. Si cette ancre n'avait pas été arrachée de la glace, elle aurait été entraînée en pleine mer et perdue (*).

La planche ci-jointe (pl. IV), qui a été faite d'après un dessin du lieutenant Bowen, de la marine royale, mettra le lecteur à portée de juger des changements incessants que le transport des blocs erratiques produit annuellement sur les basses îles, sur les rivages et sur le lit du Saint-Laurent au-dessus de Québec. Les roches calcaires et argilo-schisteuses qui forment le fond du Richelieu Rapid (lat., 46° N.), se laissent voir au moment des basses eaux, avec les blocs de granit dont elles sont couvertes. Ces blocs doivent leur forme sphéroïdale principalement à l'influence atmosphérique, ou à l'action de la gelée, qui donne lieu à l'exfoliation de la surface en plaques concentriques, et par suite, à l'effacement de tous les angles saillants. Au point *a* se trouve une cavité dans le limon ou le sable du rivage. Cette cavité, aujourd'hui remplie d'eau, était, pendant l'hiver de 1835, occupée par l'énorme bloc erratique *b*, en granit, du poids de soixante-dix tonneaux, qui fut retrouvé, le printemps suivant, à

(*) Cap. Bayfield, Geol. Soc. Proceedings (Procès-verbaux de la Société Géologique), vol. II, p. 223.

Digitized by Google

RE

Digitized by Google

Biblioteca NAPOLI V. E. III

Digitized by Google

plusieurs pieds de distance de son ancienne station. La rivière renferme plusieurs petites îles qui, ainsi que celles représentées en *c* et en *d*, offrent des preuves plus frappantes encore du pouvoir de transport et de la force de propulsion que possède la glace. Ces petites îles ne sont jamais sous l'eau, quoique, tous les hivers, la glace y soit poussée en assez grande abondance pour y former des piles de vingt et même de trente pieds (6 et 9^{m}) de hauteur. Cette glace amène sans cesse avec elle de grosses pierres, ou blocs erratiques, et en emporte d'autres. Suivant le lieutenant Bowen, le plus grand nombre de ces blocs est déposé sur le bord d'une eau profonde. Sur l'île *d*, on voit un phare, lequel est tout simplement un bâtiment de bois carré qui, n'ayant d'autres fondations que les blocs erratiques, doit être abattu chaque hiver, pour être construit de nouveau quand la rivière redevient navigable.

Ces effets de gelée si frappants sur le Saint-Laurent, au-dessus de Québec, se reproduisent sur une échelle non moins vaste au-dessous de cette ville, où le golfe s'élève et s'abaisse avec la marée. C'est même, au contraire, dans l'estuaire, entre les 47e et 49e degrés de latitude, que la plus grande quantité de gros blocs erratiques se trouve annuellement entraînée vers la mer. En ce point, la gelée est si intense, qu'une plaque de glace épaisse est formée au

moment de la basse mer ; lorsqu'ensuite vient la haute mer, cette plaque est soulevée, brisée, et jetée sur les hauts-fonds étendus qui bordent l'estuaire. Quand la marée se retire, la glace ainsi amoncelée reste exposée à une température qui descend quelquefois jusqu'à — 34 à 35° cent., et donne lieu, par voie de congélation, à l'agglomération de tous les fragments détachés de glace, et des blocs erratiques, soit granitiques ou autres. Cette masse est souvent entraînée par une haute marée, ou par les eaux de la rivière quand, au printemps, elle se trouve grossie par la fonte des neiges. C'est ainsi qu'en 1837, un bloc énorme de granit, de quinze pieds (4^{m},5) de long, sur dix (3^{m}) de large et autant de haut, et dont le volume pouvait être de quinze cents pieds cubes (42$^{m.\,cub.}$,5 environ) fut transporté à quelque distance de son ancienne position, qui était bien connue, parce qu'elle avait servi de point de repère au capitaine Bayfield pour sa station d'observation.

Glaces de fond. — Quand un courant d'air froid passe sur la surface d'un lac ou d'une rivière, il lui enlève une certaine quantité de chaleur, ce qui, en augmentant la pesanteur spécifique de l'eau, fait descendre vers le fond la partie refroidie. Cette circulation peut continuer jusqu'à ce que la

Digitized by Google

température de la masse entière du liquide soit descendue au 40e degré du thermomètre de Fahr. (+ 4°,44 centigrade); après quoi, si le froid augmente, le mouvement vertical cesse, l'eau qui occupe la partie supérieure du lac ou de la rivière s'y maintient en flottant sur les couches inférieures plus pesantes; puis, quand elle atteint une température de 32° Fahr. (0° cent.), il se forme une feuille de glace. Suivant cette loi de la congélation, il semblerait impossible que la glace pût jamais se produire au fond d'une rivière, et pourtant ce phénomène, tout singulier qu'il paraisse, est très réel. On a essayé de l'expliquer au moyen de plusieurs hypothèses. M. Arago pense que l'action mécanique de l'eau courante donne lieu à une circulation en vertu de laquelle la masse entière du liquide se trouve mêlée et refroidie également; puis, que lorsque la totalité de cette masse est réduite à la température zéro du thermomètre centigrade, la glace, par deux raisons, commence à se former dans le fond. 1° parce qu'en ce dernier point, il y a moins de mouvement qu'ailleurs; 2° parce que l'eau y est en contact avec des roches, des cailloux dont la surface est froide (*). Quelle que soit l'ex-

(*) M. Arago, Annuaire, etc., 1833; et Rev. J. Farquharson, Phil. Trans. (Transactions Philosophiques), 1835, p. 329.

Digitized by Google

plication que nous adoptions, nous ne mettrons jamais en doute que dans les régions où le froid est intense et de longue durée, il n'y ait, par suite de la formation des glaces de fond, une augmentation dans le pouvoir de transport des rivières et des torrents. Le docteur Plott raconte que dans la Tamise même, on voit, pendant l'hiver, des fragments de cette espèce de glace, ayant à leur surface inférieure, du gravier gelé, venir du fond et flotter à la surface. Weitz décrit aussi de grosses pierres qui, dans les rivières de la Sibérie, ont été vues s'élevant du lit de ces rivières, et flottant ensuite à leur partie supérieure (*).

Glaciers.—Dans les vallées de toutes les contrées voisines des cercles polaires, ainsi que sur les hautes montagnes des latitudes tempérées, la neige s'accumule en hiver; puis, étant partiellement convertie en glace, elle constitue ce qu'on appelle des glaciers. Dans les régions arctiques et antarctiques, ces glaciers descendent graduellement des vallées, jusqu'à ce qu'ils atteignent l'Océan, où, sous forme de champs de glace, ils deviennent flottants; mais sous les basses latitudes, comme dans les Alpes par

(*) Journal of Roy. Geograp. Soc. (Journal de la Société Royale de Géographie), vol. VI, p. 416.

Digitized by Google

exemple, ils descendent à un niveau de beaucoup inférieur à celui des neiges perpétuelles; là ils fondent, et donnent ainsi naissance à des torrents.

« Depuis Saussure, » dit M. Agassiz, « on a généralement conservé l'opinion que le mouvement descendant d'un glacier n'est autre chose qu'un glissement sur lui-même occasionné par son propre poids; mais plusieurs raisons portent à mettre en doute l'exactitude de cette explication. Le mouvement dont il s'agit semble, à bien plus juste titre, pouvoir être attribué à la dilatation de la glace résultant de la congélation de l'eau qui s'y est infiltrée et a pénétré dans ses cavités; car la masse de chaque glacier renferme d'innombrables fissures qui descendent à diverses profondeurs, et sont, en grande partie, remplies d'eau de pluie et de celle qui provient de la fonte de la glace de surface. Cette eau, étant toujours très froide, se congèle au moindre abaissement de température, et tend, par suite, à faire dilater le glacier dans toutes les directions. Cependant, comme la glace est retenue de deux côtés par les flancs de la vallée, et qu'elle pèse verticalement de tout son poids, la somme des dilatations, jointe à l'action de la pesanteur, ne peut, en définitive, que pousser le glacier vers le

Digitized by Google

bas de la déclivité, c'est-à-dire vers le seul côté qui n'offre pas de résistance (*).

Dans un Mémoire récemment publié sur ce sujet, M. Mallet attribue le mouvement progressif des glaciers, qui, dans les Alpes, avancent quelquefois jusqu'à vingt-cinq pieds (7m,6) par an, à la pression hydrostatique de l'eau qui coule au fond, et remplit les fissures contenues dans l'intérieur de la masse. Si quelque obstacle, tel que la chute de fragments de glace, vient intercepter momentanément le passage de l'eau qui coule au-dessous, le liquide accumulé déchire et enlève d'énormes masses du glacier, ainsi que cela arriva pendant l'hiver de 1814-1815. A cette époque, l'Arveiron, torrent qui coule au fond de la Mer de Glace, fut partiellement gelé, et partiellement arrêté par la chute de plusieurs masses de glace qui l'empêchaient de se décharger par son issue ordinaire, — cette voûte verte dans laquelle son tunnel glacé se termine. L'eau continua donc à s'accumuler jusqu'à ce qu'elle se fût ouvert un nouveau débouché, à sept cents pieds 213m) au-dessus de l'ancien. La pression était si

(*) Agassiz, Jamieson's Ed. New Phil. Journ. (Nouveau Journal Philosophique d'Edimbourg, publié par Jamieson), No liv, p. 383.

Digitized by Google

forte que, pendant plusieurs mois, d'énormes blocs de glace furent précipités du glacier (*).

Les parties des Alpes Suisses dont la hauteur excède huit mille pieds (2,400^{m} environ), sont couvertes de neiges perpétuelles; mais dans la vallée de Chamouni, les glaciers se trouvent de quatre mille pieds (1,200^{m} à peu près) au-dessous de cette limite, qui est inférieure de douze mille pieds, (3,600^{m}) au moins, à la cime la plus élevée du Mont-Blanc, où, par 46° de latitude, les glaciers atteignent une région d'environ trois mille pieds (900^{m}) au-dessus du niveau de la mer. Là, au moment des chaleurs de l'été, ils se présentent au milieu de vertes forêts et d'abondants pâturages, sous les formes les plus fantastiques et les plus pittoresques, se terminant souvent en pics nombreux et en créneaux de glace blanche. Suivant Saussure, leur épaisseur verticale moyenne est de quatre-vingts à cent pieds (24 à 30^{m}); mais dans quelques précipices elle s'élève jusqu'à six cents (180^{m} environ) (**).

La surface du glacier mouvant est couverte de sable et de grosses pierres provenant des rochers qui lui servent de limites. De ces rochers qui sont très escarpés, et qui même surplombent quelque-

(*) Mallet, Seventh Report of Brit. Ass. (Septième Rapport de l'Association Britannique), p. 64, 1837.

(**) Voyage dans les Alpes, t. I, p. 440.

fois, souvent il se détache des fragments, soit par l'effet de la gelée ou des avalanches, soit par suite du frottement de la glace mouvante elle-même, ou de l'action des torrents. Ces masses sont, en général, disposées en longues chaînes, ou monticules, s'élevant quelquefois à trente ou quarante pieds (9 ou 12m) de hauteur. Souvent on en voit deux, trois, ou même plus encore, qui ressemblent à des lignes de retranchement, et sont formées de débris amenés par des glaciers latéraux. En Suisse, on a donné le nom de moraine à l'ensemble de ces accumulations qui, peu à peu, se trouvent transportées jusqu'aux vallées inférieures, et sont abandonnées sur la plaine, là où fondent la neige et la glace. Tout le sable et les fragments de pierre tendre qui tombent dans les fissures et atteignent le fond des glaciers, ou qui sont interposés entre le glacier et les côtés escarpés de la vallée, sont broyés et réduits en limon, tandis que les fragments les plus gros et les plus durs n'ont simplement que leurs angles émoussés. On remarque aussi que les roches fondamentales qui encaissent les glaciers sont lisses, polies, et souvent rayées de sillons parallèles, ou de rainures et de stries dues à des minéraux durs tels que des cristaux de quartz, qui agissent comme le diamant sur le verre (*).

La moraine des glaciers, observe Charpentier, est

(*) Agassiz, Jam. Ed. New Phil. Jour., N° liv, p. 388.

Digitized by Google

complétement privée de stratification. Les matières dont elle se compose ne sont point distinctes comme dans les dépôts de sable, de limon et de cailloux accumulés par l'eau courante. La glace transporte indifféremment sur les mêmes points les blocs les plus lourds et les molécules les plus ténues, mêlant tout ensemble, et les laissant en amas confus partout où elle vient à fondre (*).

Champs de glaces. — Dans les contrées situées sous de hautes latitudes septentrionales, comme le Spitzberg, entre les 70e et 80e parallèles, des glaciers couverts de limon et de débris de roches descendent jusqu'à la mer, où d'énormes fragments de ces masses se mettant à flotter, deviennent des champs de glaces. Scoresby compta sous les 69e et 70e degrés de latitude nord, cinq cents de ces montagnes flottantes qui s'élevaient de cent à deux cents pieds (30 à 60m) au-dessus de la surface de la mer; leur circonférence variait entre quelques mètres et un mille ($\frac{3}{4}$ de lieue environ) (**). Plusieurs d'entre elles étaient chargées de couches de terre et de fragments de roches d'une telle épaisseur, que leur poids fut évalué de cinquante mille à cent mille tonneaux. Parmi

(*) Charpentier, Ann. des Mines, t. VIII; voyez aussi les Mémoires de MM. Venetz et Agassiz.

(**) Voyage en 1822, p. 239.

Digitized by Google

les divers échantillons que l'on se procura de ces roches, on trouva du granit, du gneiss, du micaschiste, du schiste argileux, du feldspath granulaire et du grunstein. On peut se faire une idée de la grosseur de ces masses en se rappelant que la partie cachée sous l'eau est huit fois plus considérable que celle qui se montre au-dessus. Partout où elles sont dissoutes, il est évident que la moraine tombe au fond de la mer. C'est ainsi que des vallées sous-marines, des plateaux et des montagnes se trouvent parsemés de gravier, de sable, de limon et de blocs épars, d'une nature complétement différente de celle des roches environnantes, et pouvant avoir été transportés à travers d'incommensurables abîmes. Si les champs de glace viennent à fondre dans un endroit où l'eau soit calme, de telle sorte que les matières terreuses et pierreuses puissent tomber tranquillement au fond, il est extrêmement probable que le dépôt sera non stratifié, comme dans la moraine terminale d'un glacier; mais chaque fois qu'en se précipitant, les matières en question se trouvent sous l'influence d'un courant, elles sont triées et disposées suivant leur pesanteur et leurs dimensions relatives, et sont, par conséquent, plus ou moins parfaitement stratifiées.

Nous avons rapporté, dans un chapitre précédent, que plusieurs îles de glaces avaient voyagé depuis la

Digitized by Google

baie de Baffin jusqu'aux Açores, et depuis le pôle sud jusque vers un point très voisin du cap de Bonne-Espérance; ce qui prouve que l'espace sur lequel peut se produire le phénomène du transport des glaces comprend une grande portion du globe.

Suivant M. de Buch, le point le plus méridional où, en Europe, les glaces descendent jusqu'à la mer, est en Norwége, sous le 67e degré de latitude nord (*). D'un autre côté, M. Darwin a constaté que, dans l'Amérique du Sud, ce même point se rencontre sous des latitudes situées à plus de 20° plus près de l'équateur qu'en Europe : au Chili, par exemple, où, dans le golfe de Penas, la latitude est de 46° 40′, comme dans la France centrale; et dans le golfe de sir George Eyre, dont la latitude correspond à celle de Paris. Dans ces diverses régions, les glaciers atteignent la mer et donnent naissance à des champs de glaces que l'on a vus, en 1834, emportant avec eux des blocs de granit angulaires, qu'ils abandonnaient dans des fiords dont les rivages étaient composés de schiste argileux (**). Quelquefois, dans l'île de Géorgie, où, par 54° de latitude sud, les neiges perpétuelles descendent jusqu'à la côte, les glaciers engendrent des champs de glaces couverts de limon et de pierres.

(*) Voyages en Norwège.

(**) Darwin's Journal (Journal de Darwin), p. 283.

Digitized by Google

Dans un voyage de découvertes fait en 1839, aux régions polaires antarctiques, on a vu, par 61° de latitude sud, une masse angulaire de roche d'une couleur très foncée, enchâssée dans un champ de glaces, flottant au large. La partie visible de cette roche avait douze pieds (3m,5) environ de hauteur, sur cinq à six (1m,5 à 1m,8) de largeur, mais la teinte rembrunie de la glace environnante indiquait qu'une bien plus grande portion de la pierre était cachée sous l'eau. Une esquisse de cette masse mouvante, faite par M. Macnab au moment où son vaisseau n'en était qu'à $\frac{1}{4}$ de mille ($\frac{1}{10}$ de lieue environ), vient d'être publiée (*). Ce champ de glaces, avec lequel plusieurs autres furent observés en mer le même jour, avait de deux cent cinquante à trois cents pieds (76 à 91m) de haut, et n'était pas à moins de quatorze cents milles (500l environ) de toute terre bien connue. Il est très peu probable, dit M. Darwin dans sa notice sur ce phénomène, que l'on découvre jamais aucune terre à cent milles (36l) du point où ce champ de glaces fut aperçu, et l'on doit se rappeler que le bloc erratique était encore fixé d'une manière très solide dans la glace, d'où l'on peut inférer qu'il dut parcourir plusieurs lieues de plus avant de tomber au fond de la mer (**).

(*) Journal of Roy. Geog. Soc., vol. IX, p. 526.
(**) Ibid., p. 529.

Digitized by Google

Le récit de MM. Dease et Simpson de leurs découvertes dans les régions polaires arctiques, nous apprend que par 71° de latitude nord, et 156° de longitude occidentale, ils trouvèrent « un promontoire long et bas, désigné sous le nom de « Point Barrow, » et qui, formé de gravier et de sable grossier, avait, dans quelques parties, plus d'un mille ($\frac{1}{3}$ de lieue) de large. La pression de la glace l'avait divisé en monticules nombreux, qui, vus de loin, offraient l'aspect d'énormes blocs rocheux (*). »

Ce fait est important en ce qu'il montre comment, lorsque des masses de glaces flottantes viennent à échouer sur des bancs sous-marins, elles peuvent exercer une pression latérale capable de plier et de disloquer toutes les couches peu résistantes de gravier, de sable ou de limon. Les bancs sur lesquels les champs de glaces échouent quelquefois entre la baie de Baffin et Terre-Neuve, sont à plusieurs centaines de pieds au-dessous du niveau des eaux, et la force du choc qu'ils reçoivent dépend à la fois de la vitesse et de la masse, c'est-à-dire, du *momentum* des îles de glaces flottantes. La même masse est souvent entraînée par un changement de vent, puis, repoussée encore sur le même banc, s'élevant et retombant avec les vagues de l'Océan, de manière à frapper alter-

(*) Journal of Roy. Geog. Soc., vol. VIII, p. 221

Digitized by Google

nativement le fond, de tout son poids, et à être élevée de nouveau, jusqu'à ce qu'elle ait dérangé les couches superficielles sur une vaste étendue. C'est peut-être à l'aide de cette action que les géologues parviendront à expliquer comment en Suède, en Écosse, ainsi que dans plusieurs autres contrées où l'on rencontre des blocs erratiques, les lits de sable, de marne et de gravier sont souvent verticaux, ou repliés et contournés de la manière la plus compliquée, tandis que les strates sous-jacentes, quoique formées de matières aussi peu résistantes, sont horizontales. On peut également supposer que souvent les champs de glaces doivent briser les pics de montagnes sous-marines, et exercer un frottement considérable sur leur surface, qu'ils polissent en les sillonnant ou en les striant, à la manière dont les glaciers agissent par rapport aux roches solides sur lesquelles ils sont poussés.

En résumé, il paraît que du limon, du gravier et de grosses masses de pierres, sont entraînés par les glaces des rivières, des estuaires et des glaciers, dans la mer, où les marées et les courants, aidés par les vents, les transportent, au moyen du flottage, à des centaines de milles du lieu de leur origine. Quoique ce soit aux chapitres VII et VIII qu'il convienne le plus particulièrement, de traiter du transport des matières solides par les mouve-

Digitized by Google

ments de l'Océan, je crois devoir indiquer dès à présent ce qui, sur ce sujet, se trouve lié aux phénomènes des glaces.

Nous avons déjà vu (page 269 de la 1re partie) que l'eau de mer, tant qu'elle reste liquide, n'a pas de maximum de densité. Elle ne se dilate pas, comme l'eau douce, avant de se geler, et cette propriété, aussi bien que la présence de la matière saline qu'elle tient en dissolution, empêche la congélation de s'opérer, partout où le froid n'est pas d'une très grande intensité. Cependant, comme la neige qui provient des terres adjacentes rend souvent l'eau saumâtre dans le voisinage de la côte, il en résulte la prompte formation, en ce point, d'une feuille de glace à l'aide de laquelle une grande quantité de gravier se trouve quelquefois transportée d'une place à une autre. La même chose a lieu pour des blocs très lourds, quand la glace de côte est empilée de manière à former des masses considérables. Les gros et les petits fragments de pierres ainsi entraînés voyagent ordinairement dans une même direction comme des bancs de galets — circonstance qui a été observée sur la côte du Labrador et du golfe de Saint-Laurent, entre les 50e et 60e degrés de latitude nord, par le capitaine Bayfield, pendant la reconnaissance récente qu'il a faite de ce point. La ligne de côte dont il est ici question est parsemée,

Digitized by Google

sur une étendue de sept cents milles (250l environ), de blocs erratiques charriés par des glaces. Ces blocs, qui ont souvent six pieds (1m,82) de diamètre, se dirigent, pour la plupart, du nord au sud, ou dans le sens du courant dominant. Quelquefois il arrive que certains points de cette côte sont entièrement dépourvus de blocs erratiques; mais, à une autre saison, ils recommencent de nouveau à en être abondamment couverts.

Fig. 16.

Blocs erratiques, pour la plupart granitiques, abandonnés par les glaces sur la côte du Labrador, entre les 50e et 60e degrés de lat. N.

(Lieut. Bowen, de la marine royale.)

Digitized by Google

Le dessin ci-joint (*fig.* 16), dont je suis redevable au lieutenant Bowen, de la marine royale, reproduit l'aspect qu'offre ordinairement la côte du Labrador, entre les 50e et 60e degrés de latitude nord. Une multitude de blocs, de diverses grosseurs, et presque tous granitiques, se trouvent entre la marque des hautes eaux et celle des basses eaux. Le capitaine Bayfield vit des masses pareilles entraînées par la glace dans le détroit de Belle-Isle, entre Terre-Neuve et le continent Américain. Il suppose que ces masses ont mis plusieurs années à venir de la baie de Baffin en ce point, — distance qui peut être comparée, dans notre hémisphère, à celle que parcourent les blocs erratiques venant de la Laponie et de l'Islande, pour atteindre des points aussi éloignés vers le sud que l'Allemagne, la France et l'Angleterre.

Si l'on demande comment, originairement, ces blocs se sont détachés des roches d'où ils proviennent, nous répondrons que quelques uns sont tombés de rochers escarpés; que d'autres, adhérant par leur sommet à la glace, se sont élevés du fond de la mer, tandis que d'autres encore ont été transportés par des rivières et des glaciers.

Les blocs erratiques de l'Amérique du Nord sont quelquefois angulaires, bien que la plupart d'entre eux aient été arrondis par l'effet du frottement ou de

Digitized by Google

la décomposition. Le granit du Canada a, comme nous l'avons déjà indiqué, pag. 68 du présent volume, une grande tendance à s'exfolier concentriquement, c'est-à-dire, par couches sphéroïdales, lorsque, pendant de fortes gelées, il se trouve exposé à l'action de l'écume de la mer. Dans cette contrée, la marche du thermomètre embrasse ordinairement, dans le cours de l'année, plus de 100°, et même quelquefois plus de 120° Fahr. (56° et 67°, 20 cent.): aussi, pour empêcher le granit employé dans les constructions de Québec, de se désagréger en hiver, est-il nécessaire d'huiler et de peindre les pierres équarries.

Dans certaines parties de la Mer Baltique, comme le Golfe de Bothnie, par exemple, où la quantité de sel que contient l'eau n'est, en général, que du quart de celle que renferment les eaux de l'Océan, la surface tout entière se gèle en hiver, jusqu'à la profondeur de cinq à six pieds (1m,5 à 1m,8). C'est ainsi que des pierres submergées se trouvent enveloppées de glaces, puis élevées de trois pieds (90c) environ, à la fonte des neiges en été, et ensuite transportées par des îles de g aces flottantes à de grandes distances. Le professeur de Baer rapporte, dans une communication faite par lui sur ce sujet à l'Académie de Saint-Pétersbourg, que pendant l'hiver de 1837 à 1838, un bloc de granit, pesant un million de li-

Digitized by Google

vres, fut amené par la glace, de la Finlande à l'île de Hochland, et que vers les années 1806 et 1814, deux autres blocs énormes furent transportés par des glaces empilées sur la côte méridionale de la Finlande. Suivant le témoignage des pilotes et des habitants de la côte, un bloc qui avait parcouru $\frac{1}{4}$ de mille ($\frac{1}{10}$ de lieue) à peu près, se trouvait à dix-huit pieds (5^m,5 environ) au-dessus du niveau de la mer (*).

Tous les géologues connaissent les masses énormes de gneiss et de diverses autres roches disséminées sur les basses terres qui bordent la Baltique, et que l'on peut supposer avoir été mises à sec par le soulèvement lent et l'émersion du fond de la mer, actuellement en voie de s'opérer en Suède et dans le Golfe de Bothnie. Ce mouvement ascendant peut, dans le cours des siècles, avoir produit un changement si complet dans la géographie physique de ces contrées, qu'à moins d'être guidé par des données géologiques, il est à peine possible de former quelques conjectures sur la direction qu'a dû suivre jadis la glace flottante dans le nord de l'Europe. Dans les parties du Canada et du Labrador où l'on rencontre un grand nombre de blocs erratiques sur le rivage de la mer, ces blocs ne sont pas moins abondants dans l'intérieur des terres; on

(*) Jam. Ed. New Phil. Journ. n° XLVIII, p. 439.

Digitized by Google

en voit autant que de troncs d'arbres partout où les forêts ont été partiellement abattues. Ce phénomène ne doit pas être attribué à un déluge qui se serait étendu sur la terre ferme, ainsi que quelques géologues l'ont supposé, mais à un changement de niveau analogue à celui que l'on observe en Suède, et qui, le long de la côte où les montagnes de glaces échouent, tend à convertir lentement le lit de l'ancien Océan en une partie du continent Américain.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

PHÉNOMÈNES DES SOURCES.

Origine des sources. — Puits forés. — Des diverses causes par suite desquelles les eaux minérales et thermales peuvent s'élever jusqu'à la surface du sol. — Du rapport qu'elles ont avec l'action volcanique. — Sources calcaires. — Travertin de l'Elsa. — Bains de San Vignone et de San Filippo, près de Radicofani. — De la structure sphéroïdale qui caractérise le travertin ainsi que le calcaire magnésien Anglais. — Bulicami de Viterbo. — Lac de la Solfatare, près de Rome. — Travertin de la cascade de Tivoli. — Sources ferrugineuses. — Sources salées. — Sources carbonatées. — Décomposition du granit en Auvergne. — Sources de pétrole. — Lac de poix de Trinidad.

Origine des sources. — Après avoir étudié l'action de l'eau courante à la surface de la terre, nous devons porter notre attention sur ce que l'on peut appeler « la circulation souterraine des eaux, » ou les phénomènes des sources. Personne n'ignore qu'il est certains sols poreux, tels que le sable et le gravier, qui absorbent l'eau avec une grande rapidité, et que,

Digitized by Google

par suite, les terrains de cette nature sont bientôt secs après de fortes ondées. Par la même raison, si l'on y creuse un puits, on est souvent obligé de pénétrer à des profondeurs considérables avant de trouver l'eau, que l'on ne rencontre ordinairement que vers les parties inférieures de la formation, où elle repose sur un lit imperméable; car ne pouvant le traverser, elle s'y accumule comme dans un réservoir, d'où elle s'échappe par la première ouverture qu'on y pratique, exactement de la manière dont on voit, à la basse mer, l'eau salée pénétrer dans un trou que l'on creuse dans les sables du rivage, et le remplir.

La facilité avec laquelle l'eau peut pénétrer les sols meubles, se manifeste avec la plus grande évidence par l'effet des marées que l'on observe dans la Tamise, entre Richmond et Londres. Là, le fleuve coule sur un lit de gravier recouvrant l'argile. La couche supérieure qui est poreuse, se trouve alternativement imprégnée d'eau de la Tamise quand la marée s'élève, et mise à sec, jusqu'à la distance de plusieurs centaines de pieds des bords de cette rivière, quand la marée s'abaisse, de sorte que les puits qui se trouvent dans cette étendue éprouvent régulièrement le flux et le reflux.

Si la transmission de l'eau à travers un milieu poreux est si rapide, on ne doit pas être surpris que

Digitized by Google

les sources jaillissent sur le flanc d'une colline dont les couches supérieures sont formées de craie, de sable ou d'autres matières perméables, avec des strates sous-jacentes composées d'argile ou de toute autre roche imperméable. La seule difficulté est d'expliquer pourquoi l'eau ne jaillit pas sur toute l'étendue de la ligne de jonction des deux séries distinctes de couches, pourquoi elle n'y forme pas un terrain uniformément aquifère, au lieu seulement de donner issue à quelques sources éloignées les unes des autres. La cause principale de cette concentration des eaux en un petit nombre de points tient à la fréquence des solutions et des fissures qui existent dans les strates argileuses, et qui sont autant de conduits naturels d'écoulement; puis, aux inégalités que présente la surface supérieure de la couche imperméable, et qui, de même que les vallées, à la surface extérieure d'une contrée, conduisent l'eau aux niveaux les plus bas, et dans des canaux.

Ce qui prouve qu'en général les sources sont alimentées par l'atmosphère, c'est qu'elles s'affaiblissent, ou même cessent entièrement de couler, après de longues sécheresses, et qu'au contraire, après des pluies continues, elles se remplissent de nouveau, et recommencent à jaillir avec abondance. Un grand nombre de sources offrent pourtant, dans

Digitized by Google

leur volume, une uniformité et une constance que l'on doit vraisemblablement attribuer à la grande étendue des réservoirs souterrains avec lesquels elles communiquent, et au temps nécessaire pour l'épuisement de ceux-ci par voie d'infiltration. Cet écoulement graduel et réglé se manifeste, quoique d'une manière moins complète, dans les grands lacs dont le niveau n'est pas sensiblement affecté par des pluies subites, mais légèrement élevé seulement, de telle sorte que leur canal de décharge, au lieu de se trouver grossi tout d'un coup, comme le lit d'un torrent, peut laisser échapper peu à peu l'eau qui y est en excès.

Depuis quelques années, les forages désignés en France sous le nom de puits « Artésiens, » parce qu'ils sont depuis longtemps connus et pratiqués dans l'Artois, ont servi à répandre beaucoup de lumière sur la théorie des sources. Ils ont fait reconnaître qu'à diverses profondeurs de l'écorce terrestre il existe des nappes, et même, en quelques points, de vrais courants d'eau douce. L'instrument employé pour les creuser est une grande tarière, et l'ouverture du trou a ordinairement trois ou quatre pouces (7 à 10^{c}) de diamètre. Quand on rencontre une roche dure, on commence par la triturer avec une espèce de trépan; puis, lorsqu'elle est réduite en petits fragments ou en poudre, il devient assez facile de l'extraire du trou. Pour empêcher les éboulements

Digitized by Google

des parois du puits, et pour que l'eau ascendante ne se répande pas à travers les couches environnantes, on introduit un tube dans le trou de sonde. En Artois, ce tube est en bois, mais dans les autres contrées il est ordinairement en métal. Souvent il arrive qu'après avoir traversé plusieurs centaines de pieds de terrains imperméables, la sonde atteigne enfin une couche aquifère. Dès que cette couche est percée, l'eau monte, et coule à la surface. Son premier jet à la partie supérieure du tube est quelquefois assez violent pour que, pendant quelque temps, l'eau jaillisse comme d'une fontaine; s'abaissant ensuite, elle coule tranquillement à la surface du sol, ou reste stationnaire à une certaine profondeur au-dessous de l'orifice du puits. Ce jaillissement de l'eau dont nous parlions tout-à-l'heure est dû probablement à un dégagement d'air et de gaz acide carbonique, car ces deux gaz ont été vus bouillonnant avec l'eau (*).

A Sheerness, vers l'embouchure de la Tamise, on a creusé un puits sur une langue de terre basse voisine de la mer. La sonde, après avoir traversé une épaisseur de trois cents pieds (91m) dans l'argile bleue de Londres, rencontra un lit de sable et de

(*) Consulter l'ouvrage d'Héricart de Thury sur les « Puits Forés. »

Digitized by Google

galets qui appartient, sans doute, à la formation de l'argile plastique. Aussitôt que cette couche fut percée, l'eau jaillit avec impétuosité, et remplit le puits. Dans un autre forage, fait au même endroit, on trouva l'eau à la profondeur de trois cent vingt-huit pieds (100^{m}) au-dessous de l'argile; elle s'éleva d'abord avec rapidité de cent quatre-vingt-neuf pieds (58^{m}); puis monta, en peu d'heures, à une hauteur de huit pieds (2^{m},5) au-dessus du niveau du sol. En 1824, on creusa chez l'évêque de Londres, à Fulham, près de la Tamise, un puits de trois cent dix-sept pieds (97^{m}) de profondeur. Après avoir traversé les couches tertiaires, on pénétra de soixante-sept pieds (20^{m}) dans la craie, et l'eau jaillit alors à la surface du sol, en fournissant un débit de plus de cinquante gallons (227 litres environ) par minute [1]. A Chiswick, dans le jardin d'horticulture, l'eau n'atteignit la surface qu'après que la sonde eut traversé une profondeur totale de trois cent vingt-neuf pieds (100^{m}), dont dix-neuf (5^{m},80) dans le gravier, deux cent quarante-deux et demi (73^{m},91) dans l'argile et la marne, et soixante-sept et demi (20^{m},57) dans la craie [*]. Au-dessus de Chiswick, chez le

(1) Un gallon égale 4^{lit},543. T. M.

(*) Sabine, Journ. of Sci., n° XXXIII, p. 72, 1824.

Digitized by Google

duc de Northumberland, le forage fut poussé jusqu'à la profondeur extraordinaire de six cent vingt pieds (189^{m}) ; on traversa la craie, et l'on obtint un volume d'eau considérable qui s'éleva à quatre pieds (1^{m},20) au-dessus de la surface du sol. A Hammersmith, dans un puits pratiqué chez M. Brooks, l'eau, en arrivant d'une profondeur de trois cent soixante pieds (110^{m}), s'élança avec une telle force, qu'elle inonda plusieurs bâtiments et occasionna de grands dommages. A Tooting, on obtint un courant suffisant pour mettre une roue en mouvement, et pour faire monter l'eau jusqu'aux combles d'une maison à trois étages (*). Enfin, dans le dernier des trois puits qui furent creusés à Tours, jusqu'à la profondeur de plusieurs centaines de pieds, et où la craie fut traversée, l'eau s'éleva à trente-deux pieds (9^{m},75) au-dessus du sol, avec un écoulement de trois cents mètres cubes par vingt-quatre heures (**).

Des forages semblables ont été exécutés en France, à la profondeur de huit cents (244^{m}), et même de douze cents pieds (366^{m}). Ce dernier essai a été tenté à Toulouse, mais sans succès (***). Aujourd'hui, il se fait à Paris une expérience de ce genre qui

(*) Héricart de Thury, p. 49.
(**) Bulletin de la Soc. Géol. de France, t. III, p. 194.
(***) Id., t. II, p. 272.

offre le plus grand intérêt. Un forage pratiqué dans l'abattoir de Grenelle, et qui en novembre 1839 avait déjà plus de quatre cent quatre-vingt-huit mètres, doit être continué jusqu'à six cents mètres, si l'eau ne jaillit pas avant que la sonde ait atteint cette dernière profondeur. L'accroissement de la température, en raison de la profondeur, est de 1° cent. par trente-un mètres environ (1).

M. Briggs, consul anglais en Égypte, trouva de l'eau entre le Caire et Suez, à la profondeur de trente pieds (9m), dans un sable calcaire; mais cette eau ne s'éleva pas jusqu'au sol (*). D'autres forages exé-

(1) On sait que, depuis que cette 6e édition des *Principles of Geology* a paru en Angleterre, le forage de Grenelle a donné les résultats les plus satisfaisants.

L'eau s'élève aujourd'hui, de la profondeur de 548 mètres, jusqu'à 33m,30 au-dessus du pavé de l'abattoir; et sa température, à la surface du sol, est de 27°,70 centig.

Les observations faites avant le jaillissement, par MM. Arago, Dulong et Walferdin, à 400 mètres de profondeur, puis, répétées à 505 mètres par MM. Arago et Walferdin, ont indiqué un accroissement moyen d'un degré centigrade par 31 à 32 mètres (*a*); — résultat qui se trouve aujourd'hui confirmé par la température de l'eau, à la surface du sol, en tenant compte de la très petite quantité de chaleur perdue dans le trajet. Le rendement est de 1100 mètres cubes, à la hauteur de 33m,30, et au niveau du sol, il est de 1840 mètres cubes d'eau par 24 heures.

T. M.

(*) Boué, Résumé des Prog. de la Géol. en 1832, p. 184.

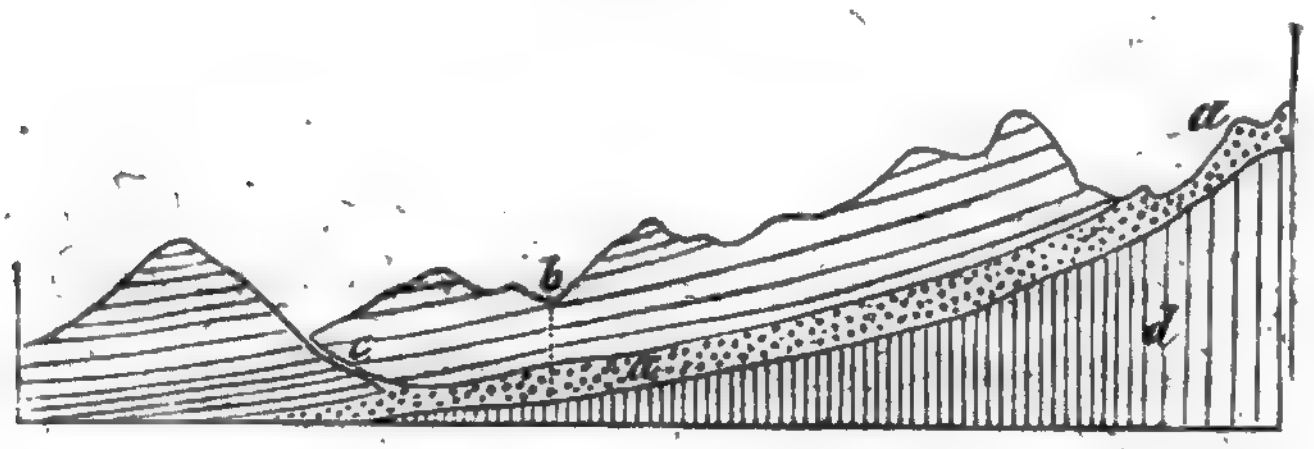
(*a*) Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences, t. IV, p. 783, et t. XI, p. 707.

Digitized by Google

cutés dans le même désert, à différentes profondeurs, entre cinquante pieds (15^m) et trois cents pieds (91^m), et à travers des alternances de sable, d'argile et de roches siliceuses, donnèrent de l'eau à la surface (*). M. Rozet croit que la structure géologique du Sahara permet d'espérer qu'il serait possible d'y obtenir de l'eau au moyen de forages Artésiens, les sables qui limitent le désert reposant sur une couche de marne argileuse (**).

L'ascension et le jaillissement de l'eau dans les puits Artésiens sont attribués, en général et avec raison, au même principe que le jeu d'une fontaine artificielle. Supposez que la couche poreuse *a a* repose sur la couche imperméable *d*, et qu'elle soit recouverte par une autre couche également imperméable. Dans

Fig. 17.



une telle position, la masse *a a* peut aisément se laisser pénétrer par l'eau qui descend des parties élevées et

(*) Seventh Rep. Brit. Ass. (Septième Rapport de l'Association Britannique), 1837, p. 66.

(**) Bul. de la Soc. Géol. de France, t. II, p. 364.

Digitized by Google

découvertes, lesquelles forment une région montagneuse qui attire les nuages, et où, par suite, il tombe une très grande quantité de pluie. Supposez ensuite qu'en un certain point, en *b*, par exemple, on fasse une ouverture qui donne un libre passage aux eaux renfermées en *a a*, à un niveau si bas qu'elles aient à supporter la pression d'une colonne d'eau considérable, accumulée dans la partie la plus élevée de cette couche, et dès lors vous comprendrez comment, dans ce cas, l'eau se précipiterait en dehors, exactement à la manière dont le liquide contenu dans une barrique s'élance hors de cette barrique quand on la met en perce; elle s'élèvera à une hauteur correspondante au niveau de son point de départ, ou plutôt à une hauteur qui balancerait la pression exercée par les eaux emprisonnées, contre la paroi supérieure et les côtés du réservoir *a a*. Si en quelque point de *a a*, comme en *c*, il se trouve une fissure naturelle, on conçoit que d'après le même principe qui fait jaillir l'eau par les puits Artésiens, une source sera produite à la surface.

Parmi les causes qui s'opposent au succès de ces forages, nous indiquerons les déchirures et les failles nombreuses qui se trouvent dans quelques terrains, ainsi que les vallées et les ravins profonds qui coupent certaines contrées; car, lorsque ces lignes naturelles d'écoulement existent, il ne reste

qu'une très petite quantité d'eau qui puisse s'échapper par des issues artificielles. Ce qui occasionne encore des mécomptes, c'est la grande épaisseur des strates perméables ou imperméables, et l'inclinaison des couches qui peut donner passage aux eaux provenant des hautes terres voisines vers quelque cavité, ainsi que cela a lieu quand les puits sont creusés au pied d'un escarpement dont les couches plongent vers l'intérieur, ou dans une direction contraire à celle des pentes de la montagne.

La distance à laquelle on peut se trouver de toute montagne ou colline ne doit pas empêcher de tenter des essais; car les eaux qui tombent sur les terres élevées pénètrent très promptement à de grandes profondeurs, à travers des couches extrêmement inclinées, ou même verticales, ou à travers des fissures de roches brisées. On conçoit qu'après avoir ainsi parcouru de grandes distances, elles doivent souvent être ramenées vers le haut par d'autres fissures, de manière à approcher de la surface dans les parties basses du pays. Là, elles peuvent être recouvertes par des lits horizontaux qui n'ont point été dérangés de leur position primitive et qu'il devient nécessaire de percer pour atteindre les nappes aquifères. Nous rappellerons ici que le cours des eaux souterraines n'offre qu'une analogie éloignée

avec celui des rivières qui coulent à la surface; car, dans ce dernier cas, l'écoulement a toujours lieu de haut en bas, à partir de la source du courant jusqu'à sa décharge dans la mer; tandis que, dans l'autre, les eaux peuvent alternativement s'abaisser au-dessous de la surface de l'océan, et s'élever au-dessus.

Parmi les autres faits non moins curieux que la tarière du sondeur a fait connaître, nous citerons encore l'existence fréquente, dans des couches d'âges divers et de compositions différentes, de canaux dans lesquels circulent les eaux souterraines. C'est ainsi, par exemple, que dans un forage exécuté à Saint-Ouen, près de Paris, la sonde, après avoir traversé cinq nappes liquides, dont chacune fournit une certaine quantité d'eau, rencontra dans la troisième couche aquifère, à la profondeur de 51^{m},5, une cavité dans laquelle elle tomba subitement de 0^{m},35, et d'où l'eau s'éleva en grande abondance (*). La chute de la sonde dans une cavité a été également observée en Angleterre et en plusieurs autres pays. En 1830, à Tours, où un puits foré traversa entièrement le terrain de craie, les eaux amenèrent, tout-à-coup, de la profondeur de 109^{m}, une grande quantité de sable fin accompagné de coquilles et de débris de végétaux, « parmi lesquels, »

(*) Héricart de Thury, p. 295.

Digitized by Google

dit M. Dujardin, qui observa ce phénomène avec plusieurs naturalistes, « on pouvait reconnaître des » rameaux d'épines, longs de quelques centimètres, » noircis par leur séjour dans l'eau, des tiges et » des racines encore blanches de plantes marécageuses, des graines de plusieurs espèces dans un » état de conservation qui ne permettait pas de supposer qu'elles eussent séjourné plus de trois ou » quatre mois dans l'eau. » On remarquait, parmi ces graines, celle d'une plante qui croît dans les marais (*Galium uliginosum*); et parmi les coquilles, une espèce d'eau douce (*Planorbis marginatus*), ainsi que quelques espèces terrestres, telles que l'*Helix rotundata* et l'*Helix striata*. M. Dujardin suppose que ces eaux provenaient de quelque vallée de l'Auvergne ou du Vivarais, d'où leur écoulement avait eu lieu depuis l'automne précédent (*).

Un phénomène analogue a été observé à Riemke, près de Bochum, en Westphalie, où l'eau d'un puits Artésien amena, d'une profondeur de cent cinquante-six pieds (48^{m} environ), plusieurs petits poissons de trois ou quatre pouces (75 ou 100^{mm}) de long. Les courants superficiels les plus rapprochés de ce puits se trouvaient à la distance de quelques lieues (**).

(*) Bulletin de la Société Géologique de France, t. I, p. 93.
(**) Id., t. II, p. 248.

Digitized by Google

Or, dans ces deux cas, il est évident que l'eau n'avait pu parvenir à de telles profondeurs en s'infiltrant à travers des couches poreuses, car alors elle n'aurait entraîné ni coquilles, ni poissons, ni fragments de plantes, mais en pénétrant dans l'intérieur de la terre par des canaux. De pareils exemples ne peuvent-ils pas suggérer l'idée que ce sont souvent les lits perméables des rivières qui alimentent les sources?

SOURCES MINÉRALES ET THERMALES.

Presque toutes les sources, celles même que l'on considère comme les plus pures, renferment quelques substances étrangères; mais ces substances étant dans un état de solution chimique, se trouvent si intimement mélangées avec l'eau, qu'elles n'altèrent pas sa clarté. Elles la rendent, en général, plus agréable au goût et plus nutritive que l'eau de pluie. Les sources dites minérales contiennent une très grande quantité de matières terreuses en solution, et les substances dont elles sont imprégnées offrent une analogie remarquable avec celles que les volcans émettent sous forme de gaz. Plusieurs de ces sources sont thermales, et jaillissent à travers toute espèce de roches, telles que le granit, le

Digitized by Google

gneiss, les calcaires ou la lave; mais c'est dans les régions volcaniques, ou dans celles qui, à des époques comparativement récentes, ont été ébranlées par de violents tremblements de terre, qu'on les trouve en plus grand nombre.

Le volume des eaux qui proviennent des sources chaudes est généralement plus considérable et moins sujet à varier, suivant les diverses saisons, que celui des eaux froides. Dans plusieurs régions volcaniques, telles entre autres que le voisinage de Naples et les îles Lipari, on voit des jets de vapeur, que les Italiens appellent *stufas* (étuves), s'élancer par des fissures du sol avec une température supérieure à celle du point d'ébullition de l'eau. Ces jets ont continué à s'en dégager ainsi pendant plusieurs siècles sans interruption. Or, on conçoit que si de pareilles colonnes de vapeur, qui souvent sont mélangées avec d'autres gaz, venaient à se condenser avant d'atteindre la surface, par suite de leur contact avec des couches remplies d'eau froide, elles pourraient donner naissance à des sources thermales et minérales à toute température. Ce n'est, du reste, que par ce moyen, et non par la pression hydrostatique, que l'on peut rendre compte de l'élévation de telles masses d'eau venant de grandes profondeurs; on n'hésitera pas non plus à admettre cette cause, si l'on suppose que la force expansive des mêmes fluides élas-

tiques est suffisante pour élever des colonnes de lave jusqu'aux sommets des montagnes volcaniques. Plusieurs gaz, et l'acide carbonique en particulier, se dégagent du sol à l'état libre, dans certaines contrées, dans celles surtout où il existe des volcans encore brûlants, ou éteints. Ces mêmes gaz sont aussi combinés, plus ou moins intimement, avec les eaux d'un grand nombre de sources minérales, tant froides que thermales. Le docteur Daubeny et plusieurs autres auteurs ont remarqué, non seulement que ces sources sont plus abondantes dans les régions volcaniques que partout ailleurs, mais que, lorsqu'elles en sont éloignées, leur présence coïncide presque toujours avec quelque grand dérangement dans les couches, comme une faille, par exemple, ou une grande fissure, qui indique qu'un canal de communication avec l'intérieur de la terre a été ouvert lors de quelque ancienne révolution locale. On a constaté aussi qu'à de grandes hauteurs, dans les Pyrénées et dans l'Himalaya, des sources chaudes jaillissent de roches granitiques. Un grand nombre de ces sources se rencontrent également dans les Alpes, ce qui s'accorde avec ce que nous disions tout-à-l'heure, — ces chaînes ayant toutes été dérangées et disloquées à des époques comparativement modernes, ainsi que peuvent le démontrer les témoignages empruntés à la géologie.

Digitized by Google

Le peu d'étendue des régions volcaniques semble, au premier aspect, offrir une objection à quelques unes des idées qui viennent d'être exposées; mais il n'en sera plus ainsi si l'on considère que les tremblements de terre proviennent de causes ignées. On peut prouver qu'une grande partie des divers points du globe qui jusqu'ici ont été explorés par les géologues, ont subi des ébranlements et des déchirements considérables par l'effet des tremblements de terre, depuis la formation des couches tertiaires les plus anciennes. Plus loin, on verra aussi que parfois, à la suite de secousses souterraines, de nouvelles sources ont jailli, et que d'autres ont éprouvé une augmentation de volume et une élévation subite de température, de telle sorte que la description de ces sources serait tout aussi bien placée dans un chapitre ayant pour titre « des Causes ignées, » qu'elle peut l'être ici, ces sources offrant le double caractère d'une origine ignée et d'une origine aqueuse.

Mais, demandera-t-on, comment les régions volcaniques peuvent-elles fournir constamment des quantités d'eau aussi considérables? La difficulté de résoudre ce problème serait vraiment insurmontable, si l'on pouvait supposer que toutes les eaux atmosphériques se rendent dans le bassin de l'océan; mais ce qui prouve qu'il n'en est point ainsi,

Digitized by Google

c'est qu'en creusant près du rivage, on rencontre souvent, à plusieurs centaines de pieds au-dessous du niveau de la surface de la mer, des courants d'eau douce qui, probablement, descendent quelquefois à des profondeurs bien inférieures au fond de cette même mer, lorsque quelque cause étrangère n'en interrompt pas le cours. Cependant, combien peut être plus grande encore la quantité d'eau salée qui tombe sous le fond de la mer, tant au travers des couches poreuses dont bien souvent il se compose, que par les fissures qu'y ont produites les tremblements de terre! Après avoir pénétré à une profondeur considérable, cette eau peut rencontrer une chaleur assez intense pour être transformée en vapeur, même sous la haute pression à laquelle elle serait alors soumise. Cette chaleur serait probablement le plus près possible de la surface dans les contrées volcaniques, et le plus loin dans les régions qui sont restées le plus longtemps sans éprouver d'éruptions et sans ressentir de secousses souterraines. Mais nous bornerons ici ces investigations; car, en les poussant plus loin, nous anticiperions sur plusieurs questions qui appartiennent à une autre partie de notre sujet.

D'après les idées qui viennent d'être exposées, on doit croire naturellement que les eaux terrestres sont soumises à une double circulation : l'une occa-

Digitized by Google

sionnée par la chaleur solaire, l'autre résultant de la chaleur produite dans l'intérieur de notre planète. Personne n'ignore que la terre serait impropre à la végétation si elle était privée des eaux que la chaleur du soleil élève dans l'atmosphère; mais ce qui n'est pas moins vrai, c'est que les sources minérales contribuent puissamment à rendre la surface du globe propre à entretenir la vie des animaux et des plantes. Leur chaleur favorise le développement des espèces aquatiques dans plusieurs parties de l'Océan, en même temps que les substances qu'elles amènent des entrailles de la terre à la surface sont particulièrement propres à l'alimentation des animaux et des végétaux.

Comme ces sources empruntent leur principale importance, sous le rapport géologique, à la quantité et à la qualité des matières terreuses que, de même que les volcans, elles envoient de bas en haut, on peut les considérer ici relativement aux substances qu'elles tiennent en suspension. Celles-ci sont fort nombreuses et consistent particulièrement en carbonate de chaux, en acides carbonique et sulfurique, en fer, silice, magnésie, alumine, sel, pétrole ou bitume liquide, et ses diverses modifications, telles que la poix minérale, le naphte et l'asphalte.

Sources calcaires. — Notre attention se porte d'abord naturellement sur les sources fortement imprégnées de matière calcaire, en raison du très grand intérêt que présentent en géologie les phénomènes variés auxquels elles donnent lieu. On sait que l'eau de pluie a la propriété de dissoudre les roches calcaires sur lesquelles elle coule, et qu'il n'est pas jusqu'aux plus petits étangs et ruisseaux qui ne fournissent une certaine quantité de la matière destinée à la production des sécrétions terreuses des testacés, et au développement de certaines plantes sur lesquelles ils vivent. Mais il y a un grand nombre de sources dont les eaux renferment tant d'acide carbonique, qu'elles peuvent dissoudre une bien plus grande quantité de matière calcaire que l'eau de pluie. Quand une fois cet acide est répandu dans l'atmosphère, les substances minérales se déposent sous forme de tuf ou de travertin (*).

Auvergne. — Ces sources, quoique plus abondantes dans les régions calcaires que dans aucune

(*) Des deux roches auxquelles ce dépôt donne naissance, la plus incohérente, la plus poreuse, celle qui contient ordinairement des plantes et diverses autres substances incrustées, est appelé *tuf*; la plus compacte est désignée sous le nom de *travertin*. Voyez au glossaire qui se trouvera à la fin du vol. IV, les mots « Tuf » et « Travertin. »

autre, jaillissent pourtant indistinctement de toutes les formations. Dans la France Centrale, où les roches primaires sont rarement dépourvues de calcaire, des sources fortement chargées de carbonate de chaux s'échappent à travers le granit et le gneiss. Quelques unes de ces sources sont thermales, et doivent probablement leur origine à la chaleur volcanique qui jadis exerçait une action si active dans cette région. Une d'elles, située à la base septentrionale de la colline sur laquelle Clermont est bâtie, sort du pépérino volcanique qui repose sur le granit, et a formé, par ses incrustations, une butte élevée de travertin, ou calcaire concrétionnaire blanc. Cette butte, dont la longueur est de deux cent quarante pieds (73^{m} environ), en a seize (5^{m}) de haut vers son extrémité, et vingt (6^{m}) de large. Une autre source incrustante que l'on observe à Chaluzet, près de Pont-Gibaud, dans le même département, jaillit du gneiss, au pied d'un cône volcanique régulier, et à vingt milles (7^{l} environ) au moins de toute roche calcaire. Quelques parties d'un dépôt tufacé produit par cette source ont une texture oolithique.

Vallée de l'Elsa. — Si nous passons du district volcanique de la France à celui qui borde les Apennins, en Italie, nous trouvons une multitude de

Digitized by Google

sources dont les eaux ont précipité tant de matière calcaire, que, dans quelques parties de la Toscane, tout le sol est couvert de tuf et de travertin, et rend un son creux sous le pied.

En d'autres points de la même contrée, on voit des roches compactes qui descendent le long des flancs des collines, à la manière des courants de lave, dont elles ne diffèrent que parce qu'elles sont d'une couleur blanche, et qui se terminent brusquement quand elles atteignent le cours d'une rivière. Ces roches consistent en un dépôt calcaire provenant de sources dont quelques unes coulent encore, tandis que d'autres ont disparu ou changé de position. On en trouve fréquemment des masses sur la pente des collines qui bornent la vallée de l'Elsa, un des tributaires de l'Arno, qui coule près de Colle, dans une vallée de plusieurs centaines de pieds de profondeur, creusée dans une formation lacustre renfermant des coquilles fossiles d'espèces encore existantes. La stratification du travertin est discordante par rapport à celle des couches lacustres, mais son inclinaison ne diffère pas de celle des flancs de la vallée.

Un des plus beaux exemples que j'en aie jamais vus est au Moulin de Caldane, près de Colle.

La Séna et plusieurs autres petits ruisseaux qui alimentent l'Elsa ont la propriété de pétrifier le

bois et les plantes. Le lit de l'Elsa elle-même renferme un très grand nombre de plantes aquatiques, qui, telles que le Chara, absorbent de grandes quantités de carbonate de chaux. On voit aussi dans la même vallée l'acide carbonique se dégager, en bouillonnant, de plusieurs sources dans lesquelles on n'aperçoit nulle trace de précipité de tuf. Targioni, qui, dans ses voyages, a fait mention d'un grand nombre d'eaux minérales observées en Toscane, n'a trouvé aucune différence entre les dépôts provenant des sources froides et ceux qui résultent des sources thermales. Quelquefois elles s'échappent du grès, des schistes, et du vieux calcaire Apennin; mais, dans d'autres localités, elles jaillissent de formations plus modernes. Toutefois, dans ce dernier cas même, leur source se trouve probablement, soit dans les anciennes séries de strates, soit au-dessous.

Bains de San Vignone. — Les personnes qui n'ont observé l'action des eaux pétrifiantes qu'en Angleterre se feront difficilement une idée exacte de l'intensité de cette même action dans les régions plus rapprochées des centres de phénomènes volcaniques en activité. La montagne de San Vignone, en Toscane, à peu de distance de Radicofani, et à quelques centaines de mètres de la grande route

Digitized by Google

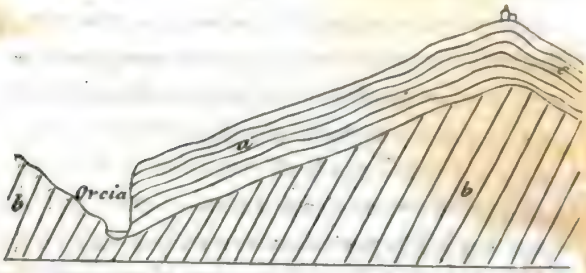
qui conduit de Sienne à Rome, nous offre un des exemples les plus remarquables de la précipitation rapide du carbonate de chaux que déposent les eaux thermales. La source jaillit près de la cime d'une colline rocheuse de cent pieds de haut (30m) environ. Le sommet de cette colline forme un plateau qui s'étend, en s'inclinant doucement, jusqu'à la base du mont Amiata, — éminence dont une grande partie consiste en produits volcaniques. La roche fondamentale d'où la source s'échappe est une argile schisteuse mêlée de serpentine (*b b*, *fig.* 18), et appartenant à l'ancienne formation Apennine. L'eau est chaude, d'une saveur forte, et quand on en observe une certaine quantité, sa couleur est d'un vert très vif. La précipitation s'opère si rapidement dans le voisinage de la source, qu'une couche de travertin solide d'un demi-pied (15c environ) d'épaisseur est formée chaque année dans le fond d'un conduit destiné à amener l'eau aux bains, et dont l'inclinaison est de 30°. Une roche plus compacte se trouve produite à l'endroit où l'eau coule lentement. En hiver, c'est-à-dire à l'époque où il se fait le moins d'évaporation, la matière déposée est plus solide, mais moindre d'un quart, en volume, que pendant l'été. La roche est blanche généralement; quelques parties sont compactes et résonnent sous le marteau; d'autres sont cellulaires,

Digitized by Google

et offrent des cavités analogues à celles qu'on observe dans des os cariés, ou dans la pierre meulière du bassin de Paris. Une portion de cette même roche située au-dessous du village de San Vignone consiste en incrustations de longs tubes végétaux, et peut être considérée comme une sorte de tuf. Quelquefois le travertin prend exactement les formes botryoïde et mamelonnée qui caractérisent des dépôts semblables, mais plus anciens, que l'on trouve en Auvergne. Comme eux aussi, il s'écaille souvent en couches minces, légèrement ondulées.

Une grande masse de travertin (*c*, *fig.* 18) s'étend le long de la colline, à partir du point où jaillit la source jusqu'à la distance d'un demi-mille ($\frac{1}{5}$ de lieue environ) à l'est de San Vignone. Les lits sont

Fig. 18. *Bains de San Vignone.*



Coupe de travertin, San Vignone.

inclinés, comme la colline, sous un angle de 6° envi-

Digitized by Google

ron, et les plans de stratification sont parfaitement parallèles entre eux. Une des strates de ce travertin, qui se compose de plusieurs lits, est très compacte, et a quinze pieds (4^{m},5 environ) d'épaisseur. On l'emploie comme pierre à bâtir, usage pour lequel elle est excellente. En 1828, on en a extrait un bloc de quinze pieds (4^{m},5) de longueur pour construire un nouveau pont sur l'Orcia. Une autre branche de cette strate (*a*, *fig.* 18), dont l'épaisseur variable atteint parfois jusqu'à deux cents pieds (60^{m} à peu près), descend à l'ouest, sur une longueur de deux cent cinquante pieds (76^{m} environ), puis est coupée par la petite rivière Orcia, exactement à la manière dont quelques glaciers, en Suisse, descendent dans une vallée jusqu'à ce qu'ils se trouvent subitement arrêtés par un cours d'eau transversal.

La manière brusque dont se termine cette masse de roche au bord de la rivière, où elle conserve toute son épaisseur, montre évidemment qu'elle avancerait beaucoup plus loin si elle n'était arrêtée par le courant, au-dessus duquel elle surplombe légèrement; mais comme elle est minée constamment, ainsi que l'attestent les fragments solides qui s'en détachent, et qui se trouvent disséminés parmi le gravier d'alluvion, elle ne peut empiéter sur le lit de l'Orcia. Quelque énorme que puisse donc paraître la masse de

Digitized by Google

roche solide provenant de cette seule source, on peut être assuré que, sous le rapport du volume, elle est insignifiante, comparativement à celle qui a été transportée à la mer depuis qu'elle a commencé à couler. Quelle peut avoir été la durée de cette période? Aucune donnée ne nous fournit les moyens de l'évaluer. On sait seulement que, dans l'exploitation que l'on fait du travertin, on a quelquefois trouvé des tuiles romaines à la profondeur de cinq ou six pieds (1m,5 à 1m,8 environ).

Bains de San Filippo. — Sur une autre colline située à quelques milles seulement de celle dont nous venons de parler, et qui se rattache aussi au mont Amiata, dont le sommet n'est qu'à trois milles (1l environ) de distance, se trouvent les fameux bains de San Filippo. Les roches sous-jacentes consistent en alternances d'argile schisteuse noire, de calcaire et de serpentine, et en strates fortement inclinées, appartenant à la formation Apennine. De même qu'à San Vignone, ces strates se trouvent voisines de la limite d'un bassin tertiaire d'origine marine, formé principalement de marne argileuse bleuâtre. On y compte trois sources chaudes, contenant du sulfate de magnésie, ainsi que du carbonate et du sulfate de chaux. L'eau qui alimente les bains tombe dans un étang, où, *en vingt années* à peu

Digitized by Google

près, elle a déposé une masse solide de *trente pieds* (9^{m} environ) d'épaisseur (*). On a établi dans ces bains une fabrique de médaillons en relief. L'eau est conduite par des canaux dans plusieurs puits où elle dépose du travertin et des cristaux de sulfate de chaux. Après qu'elle s'est ainsi dégagée de ses parties les plus grossières, un tube l'élève au sommet d'une petite chambre d'où elle retombe ensuite d'une hauteur de dix à douze pieds (3^{m} ou 3^{m},6 environ). Le courant est interrompu dans sa chute par une multitude de bâtons entrecroisés, à travers lesquels l'eau se projette en écume sur des moules légèrement enduits d'une dissolution de savon. Il en résulte un dépôt de matière solide comme le marbre, qui donne ainsi de très belles empreintes des figures formées dans les moules (**). Le géologue peut tirer parti de ces expériences pour étudier l'inclinaison sous laquelle certaines précipitations demi-cristallines peuvent se former; car, bien que quelques uns des moules soient placés presque perpendiculairement, le dépôt n'en a pas moins une épaisseur à peu près égale partout.

En quatre mois de temps, les eaux de San Fi-

(*) Dr. Grosse on the Baths of San Filippo (le Dr Grosse, sur les bains de San Filippo), Ed. Phil. Jour., vol. II, p. 292.
(**) Id., p. 297.

Digitized by Google

lippo produisent une couche de pierre dure d'un pied (3^d) environ d'épaisseur. L'abondance des sources, ainsi que l'uniformité de la quantité d'eau qu'elles fournissent, permet de se rendre compte de la masse considérable qui se forme sur la pente de la colline; elle a un mille et un quart (près d'une $\frac{1}{2}$ lieue) de longueur, sur un tiers de mille ($\frac{1}{9}$ de lieue environ) de largeur; en quelques points, son épaisseur excède deux cent cinquante pieds (75^m à peu près). A quelle longueur eût-elle atteint, si, comme le travertin de San Vignone, elle n'eût été arrêtée par un petit courant où elle se termine brusquement? C'est ce qu'on ne saurait dire. Quant au reste de la matière tenue en suspension, tout porte à croire qu'il est entraîné jusqu'à la mer.

Structure sphéroïdale du travertin. — Ce qui rend ce calcaire récent si intéressant aux yeux du géologue, c'est la forme sphéroïdale qu'il affecte. Cette forme est analogue à celle du travertin de Tivoli, que nous décrirons tout-à-l'heure. Les lames sont si minces dans quelques unes des masses concentriques qu'on peut en compter jusqu'à soixante dans l'épaisseur d'un pouce ($2^c,5$ environ). Cependant, malgré ces indices d'un dépôt graduel et successif, on aperçoit çà et là des sections qui pourraient sembler être des sphéroïdes parfaits.

Digitized by Google

Cette tendance à une structure mamelonnée et globulaire tient à la facilité avec laquelle la matière calcaire est précipitée en quantité presque égale sur tous les côtés de chaque fragment de coquille ou de bois, ou à l'inégalité de la surface sur laquelle l'eau minérale coule. la forme du noyau étant transmise promptement à travers les diverses enveloppes successives qui se sont formées. Mais ces masses ne peuvent jamais être des sphères parfaites, quoique souvent elles paraissent telles, lorsqu'on fait une section transversale dans une ligne dont la direction ne coïncide pas avec celle du point d'attache. Là, parfois on découvre de petits grains oolithiques et pisolithiques dont la forme globulaire résulte de ce que le noyau ayant été en mouvement dans l'eau, pendant un certain temps, a reçu un nouveau dépôt de matière sur toutes ses faces.

J'ai vu de même, sur les parois verticales de grandes chaudières à vapeur, des têtes de clous ou rivets recouverts d'une série d'incrustations de substance calcaire qui, le plus ordinairement, est du sulfate de chaux. Un nodule concrétionnaire se trouve ainsi formé, et conserve une forme presque globulaire, lorsque sa masse atteint un diamètre de plusieurs pouces. Ici, comme dans quelques travertins, il y a souvent réunion des structures concentrique et radiée; et ce dernier caractère est

Digitized by Google

un de ceux qui rapprochent le plus le calcaire magnésien anglais des travertins de l'Italie.

Un autre point de ressemblance entre ces formations, si différentes sous d'autres rapports, consiste dans l'entrecroisement (*interference*) d'une sphère avec une autre sphère; dans les cavités et les vides qui s'y rencontrent accidentellement, et constituent la structure qui se présente sous forme d'un rayon de miel; enfin dans la fréquente interposition de substances incohérentes, entre différentes concrétions sphéroïdales solides. Toutefois, malgré ces divers points d'analogie, le professeur Sedgwick observe qu'il existe des preuves à l'aide desquelles on peut reconnaître si l'arrangement concrétionnaire du calcaire magnésien est postérieur à la formation de ce dépôt; car dans ce cas, les formes sphéroïdales qu'on y remarque n'ont souvent aucun rapport avec la direction des feuillets (*).

Bulicami de Viterbo. — Je n'essaierai pas de décrire tous les lieux de l'Italie où la formation constante du calcaire peut être observée, comme dans le Silaro, près de Pæstum, ou dans le Velino à Terni; mais je ne puis passer sous silence les sources chaudes des environs de Viterbo, que j'ai visitées

(*) Geol. Trans. (Transactions Géologiques), seconde série, vol. III, p. 37.

Digitized by Google

en 1828, et qui méritent d'être citées d'une manière particulière. Leurs propriétés pétrifiantes ont été chantées par le Dante dès l'année 1300.

« Quale del Bulicame esce'l ruscello. »
Inf., XIV, 79.

A 1 mille $\frac{1}{2}$ (une demi-lieue) environ au nord de cette ville, et près des bains que l'on nomme les Bulicami, on voit, au milieu d'une plaine stérile de sable et de cendres volcaniques, un monticule de vingt pieds (6^{m} environ) de haut et de cinq cents mètres de tour, entièrement composé de travertin concrétionnaire. On a exploité des parties considérables de cette roche pour en extraire de la chaux. Les feuillets dont elle est formée sont très minces, et les petites ondulations de ces feuillets sont disposées de telle sorte que la masse présente une structure à la fois concentrique et radiée. Quant à l'inclinaison des lits, elle est de 40°, ou plus, à partir du centre du monticule. Il est évident que la totalité de la masse a été formée graduellement, comme les buttes coniques des geysers, en Islande, par un filet d'eau calcaire, qui s'échappait autrefois du sommet du monticule, mais qui, aujourd'hui, a cessé de couler. Une source d'eau chaude jaillit encore (1828) dans le voisinage, et est conduite dans un bassin qui sert de bain. Le fond et les parois latérales de ce bassin,

Digitized by Google

ainsi que le conduit qui amène l'eau, sont incrustés de travertin.

Campagne de Rome. — Ainsi que plusieurs parties des États Toscans dont nous avons déjà parlé, le pays qui avoisine Rome a été, à d'anciennes périodes, le théâtre de nombreuses éruptions volcaniques. Les sources y sont encore abondamment chargées de chaux, d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré. Vers 1827, M. Riccioli découvrit, près de Civita-Vecchia, une source chaude qui dépose alternativement des lits d'un travertin jaunâtre et d'une roche blanche granulaire, dont les échantillons ne peuvent être facilement distingués du marbre statuaire, ni sous le rapport du grain, ni sous celui de la couleur et de la composition. Il y a passage entre ces roches et le travertin ordinaire; et la masse accumulée près de la source a, en quelques endroits, près de six pieds (2^{m} environ) d'épaisseur.

Lac de la Solfatare. — Dans la Campagne, entre Rome et Tivoli, se trouve le lac de la Solfatare, que l'on appelle aussi Lago di Zolfo (*lacus albula*), et dans lequel coule continuellement un courant d'eau tiède qui sort d'un autre petit lac, situé à quelques mètres seulement au-dessus de celui

Digitized by Google

de la Solfatare. L'eau de ce lac est saturée de gaz acide carbonique, qui s'en dégage avec une telle abondance, en quelques points de sa surface, qu'on la croirait en ébullition. « J'ai trouvé, » dit sir Humphry Davy, « d'après l'expérience que j'en ai faite, que l'eau prise dans la partie la plus tranquille du lac tient en solution, même après avoir été agitée et exposée à l'air, plus que son volume de gaz acide carbonique, avec une très faible quantité d'hydrogène sulfuré. Sa température, qui est presque constamment de 80° Fahr. (26°,67 cent.), et la quantité d'acide carbonique qu'elle contient, la rendent surtout propre à l'entretien de la vie végétale. Les bancs de travertin sont couverts partout de roseaux, de lichens, de conferves et de diverses espèces de plantes aquatiques; mais en même temps que des phénomènes de végétation s'accomplissent, il se produit aussi des cristallisations de la matière calcaire, qui, par suite du dégagement de l'acide carbonique, se dépose sur tous les points. Il n'existe, je pense, aucun lieu dans le monde qui offre un exemple plus frappant de l'opposition ou du contraste des lois de la nature animée et inanimée, des forces de l'affinité chimique inorganique et de celles qui président aux phénomènes de la vie (*). »

(*) Consolations in Travel, p. 123—125.

Google

Le même observateur raconte qu'ayant fixé, au mois de mai, un bâton dans une masse de travertin couverte par l'eau du lac, ce ne fut pas sans difficulté qu'au mois d'avril suivant il parvint à briser, avec la pointe d'un marteau, le travertin qui s'était accumulé autour de ce bâton, et qui avait plusieurs pouces d'épaisseur. La partie supérieure consistait en un mélange de tuf léger et de feuilles de conferves; au-dessous se trouvait un travertin plus solide et de couleur plus foncée, renfermant des masses de conferves noires et décomposées; dans la partie inférieure, il était plus solide encore, et d'une nuance grise; mais on y remarquait des cavités qui, probablement, étaient dues à la décomposition de la matière végétale (*).

Le courant qui sort de ce lac remplit un canal de neuf pieds (2^{m},76) de large sur 4 (1^{m},21) de profondeur, et trace, dans le paysage, une ligne de vapeur qui frappe la vue. Il dépose du tuf calcaire dans ce canal, et le Tibre en reçoit probablement, ainsi que de beaucoup d'autres courants encore, une quantité considérable de carbonate de chaux en solution, qui peut contribuer à l'accroissement rapide de son delta. Un grand nombre des plus beaux édifices de Rome, tant de la ville ancienne que de

(*) Consolations in Travel, p. 127.

Digitized by Google

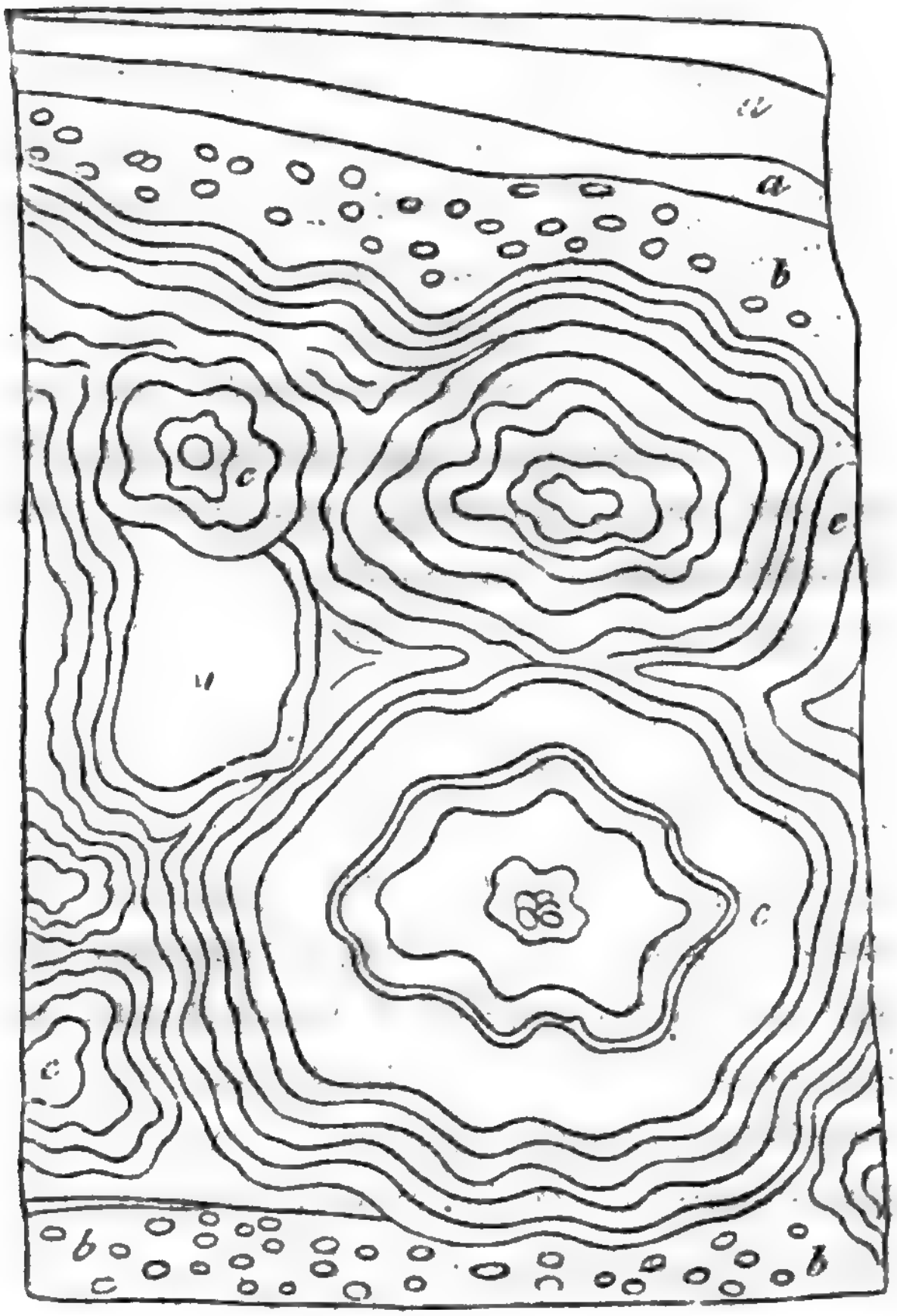
la ville moderne, sont construits en travertin provenant des carrières de Ponte-Lucano, où, suivant toute apparence, se trouvait jadis un lac, dans la plaine que nous avons déjà décrite. Mais je ne m'arrêterai point à ce sujet, dont la considération nous conduirait au-delà des temps historiques, et je terminerai ce que j'avais à dire des dépôts calcaires qui se forment dans le voisinage, par un exemple que j'emprunterai aux eaux de l'Anio.

Travertin de Tivoli. — Les eaux de l'Anio incrustent les roseaux qui croissent sur ses bords, et l'écume de la cataracte de Tivoli donne naissance à de belles stalactites; mais sur les côtés de l'abîme dans lequel la cascade se jette, on voit une accumulation vraiment extraordinaire de lits horizontaux de tuf et de travertin, de quatre à cinq cents pieds (120 à 150" environ) d'épaisseur. La coupe qui se trouve immédiatement au-dessous des temples de Vesta et de la Sibylle met à découvert un précipice de quatre cents pieds (120^{m}) de hauteur environ, et laisse apercevoir quelques sphéroïdes qui n'ont pas moins de *six à huit pieds* (1^{m},80 à 2^{m},40) *de diamètre ;* chacune des couches concentriques dont ils sont formés a environ $\frac{1}{8}$ de pouce (3^{mm}) d'épaisseur. Le dessin ci-joint représente une étendue de quatorze pieds (4^{m},25) à peu près, de cette masse immense,

Digitized by Google

vue du sentier taillé dans le roc qui conduit du temple de Vesta à la grotte de Neptune. Je n'ai pas essayé

Fig. 19.



Coupe de travertin concrétionnaire sphéroïdal sous la Cascade de Tivoli.

de reproduire dans ce dessin les innombrables couches

Digitized by Google

minces dont se composent ces magnifiques sphéroïdes ; mais les lignes tracées indiquent quelques unes des divisions naturelles que différencient de petites variations dans la dimension ou dans la couleur des couches. Les ondulations, aussi, sont beaucoup plus petites, proportionnellement à la circonférence entière, que dans le dessin. Les lits *a a* représentent un travertin dur et un tuf tendre, au-dessous desquels est un pisolithe *b*, dont les globules sont de grosseurs différentes. Vient ensuite une masse de travertin concrétionnaire *c c ;* plusieurs des sphéroïdes qu'il renferme sont de la dimension extraordinaire que nous citions tout-à-l'heure. En quelques points, comme en *d*, par exemple, se trouve une masse de calcaire amorphe ou de tuf, entourée de couches concentriques. En dessous, est un autre lit de pisolithe *b*, dans lequel les plus petits nodules sont à peu près de la forme et de la grosseur de fèves et d'avelines; il s'y rencontre aussi quelques petits grains oolithiques. Enfin, le bois, dans ces strates tufacées, est converti en un tuf très léger.

Les détails suivants semblent donner l'explication la plus probable de l'origine de la roche dans cette position singulière. L'Anio coule au milieu d'une gorge, ou fissure irrégulière et profonde du calcaire apennin, qui peut avoir été produite par des tremblements de terre. Plusieurs lacs existaient jadis dans

Digitized by Google

ce canal profond et étroit ; mais trois d'entre eux ont été détruits, depuis les temps historiques, par l'action érosive du torrent ; le dernier est resté jusqu'au VIe siècle de notre ère.

On peut supposer qu'un lac semblable, très profond, existait à Tivoli, dans des temps anciens, et que les eaux, chargées de carbonate de chaux, y tombaient d'une hauteur moindre que celle de la cascade actuelle. Ces eaux ayant abandonné, dans leur passage à travers les lacs supérieurs, le sable, les cailloux et le sédiment grossier qu'elles contenaient, n'amenaient dans le bassin inférieur que du bois, des feuilles et diverses autres substances flottantes. Dans les saisons où l'eau était basse, un dépôt de tuf ordinaire, ou de travertin, se formait dans le fond ; mais à d'autres époques, lorsque le torrent grossissait, le bassin devait être fortement agité, et chaque petite molécule de carbonate de chaux qui se précipitait était mise en mouvement en tous sens avant d'avoir reçu les enveloppes successives qui la font ressembler à un grain oolithique. Si la force du mouvement était assez grande pour tenir le globule en suspension pendant une durée de temps suffisante, il pouvait acquérir une grosseur égale à celle d'un pois, ou même un volume bien plus considérable. De petits fragments de tiges de végétaux fixés sur les

Digitized by Google

bords du courant, puis entraînés, formaient le noyau de globules ovales ; d'autres noyaux de formes irrégulières étaient produits par le séjour temporaire des fragments sur le fond du bassin, où, après avoir été recouverts, sur un de leurs côtés seulement, d'une couche inégale de travertin, ils étaient de nouveau mis en mouvement. Quelquefois les globules, se projetant au-dessus du niveau général d'une strate, attiraient, en vertu de l'affinité chimique, d'autres matières pendant la précipitation, et, s'accroissant ainsi de tous côtés, à l'exception de celui du point de contact, pouvaient, à la fin, former des sphéroïdes presque parfaits, de plusieurs pieds de diamètre. De la possibilité qu'avaient les masses d'augmenter de volume, soit en dessus, soit en dessous, il résultait qu'une section verticale pouvait offrir la reproduction du phénomène si commun à Tivoli, où le noyau de quelques uns des cercles concentriques qu'on y observe semble avoir été suspendu, sans point d'appui, dans l'eau, jusqu'à ce qu'il soit devenu une masse sphéroïdale très volumineuse.

Il est probable que l'origine de la plus grande partie de cette formation calcaire est antérieure à nos temps historiques ; car on sait qu'à une époque très ancienne, il existait à Tivoli une grande cascade ; mais dans la partie supérieure du travertin, on voit

Digitized by Google

encore l'empreinte d'une roue dont le cercle extérieur et les rais ont subi l'action de la décomposition, ainsi que l'on peut en juger par le vide qui existe à la place qu'ils remplissaient autrefois. Or, il semble impossible d'expliquer la position de ce moule, si l'on n'admet que la roue fut encastrée dans le travertin avant que le lac ait été mis à sec.

Sources calcaires du Caucase. — Dans son exploration des chaînes du Caucase, région dont le sol est, de temps à autre, exposé à des déchirements et à des fissures, par suite de violents tremblements de terre, Pallas a compté un grand nombre de sources chaudes, dont les dépôts ont donné naissance à des monticules de travertin tout-à-fait analogues, sous le rapport de la composition et de la structure, à ceux des bains de San Filippo et de diverses autres localités de l'Italie. Quand il parle du *tophus* (c'est ainsi qu'il désigne ce calcaire), il observe souvent qu'il est *d'un blanc de neige*, — comparaison que l'on peut très bien appliquer à la partie la plus récente du dépôt de San Filippo, sur les points du moins où la décomposition due aux influences atmosphériques n'en a pas altéré la blancheur. Les voyageurs citent ce dépôt calcaire comme étant produit très abondamment par les sources chaudes qu'on rencontre souvent dans les régions

Digitized by Google

situées entre la mer Caspienne et la mer Noire, où des convulsions souterraines ont lieu fréquemment. Près des bords du lac Ourmiah (ou Maragha), par exemple, un marbre, fort en usage pour les ornements d'architecture, se trouve produit en très peu de temps par une source thermale (*).

Il y a tout lieu de croire que quelques uns des calcaires zoophytiques et coquilliers qui constituent les récifs de coraux sont alimentés par du carbonate de chaux, ainsi que par diverses autres substances minérales provenant de sources sous-marines, et que leur chaleur, aussi bien que les éléments terreux et gazeux qu'elles contiennent, peuvent favoriser le développement des coraux, des éponges et des testacés, exactement à la manière dont la végétation se trouve accélérée par des causes semblables dans le lac de la Solfatare que nous avons précédemment décrit. Mais j'aurai occasion de traiter avec détail des récifs de coraux et de leur origine probable, à la fin du présent volume.

Sources sulfureuses et gypseuses. — La quantité des autres substances minérales dont, en général, les sources sont chargées, est insignifiante comparativement à la proportion dans laquelle se trouve

(*) Von Hoff, Geschichte, etc., vol. II, p. 114.

Digitized by Google

la chaux, qui très souvent y est combinée avec l'acide carbonique. Mais comme souvent aussi il se dégage de l'acide sulfurique et de l'hydrogène sulfuré, il s'ensuit que de vastes dépôts de gypse peuvent se former dans certaines mers et dans certains lacs. Toutefois, les précipités gypseux que l'on connaît jusqu'à présent paraissent limités à un très petit nombre de sources. Celles de Bade, près de Vienne, qui alimentent les bains publics, peuvent être citées comme exemple. Quelques unes de ces sources fournissent chacune de six cents à mille pieds cubes (17 à 28 mètres cubes environ) d'eau par heure, et déposent une poudre fine composée de soufre, de sulfate et de muriate de chaux (*). A la Puenta del Inca, dans les Andes, le lieutenant Brand découvrit une source thermale dont les eaux contenaient une grande proportion de gypse avec du carbonate de chaux et diverses autres substances; sa température était de 91° Fahr. (32°,78 cent.) (**).

Sources siliceuses. — Açores. — Pour que l'eau puisse tenir une très grande quantité de silice en solution, il semble nécessaire que sa température

(*) C. Prevost, Essai sur la Constitution physique du Bassin de Vienne, p. 10.

(**) Travels across the Andes (Voyages dans les Andes), p. 240.

Digitized by Google

soit très élevée (*). Or, comme elle est susceptible de conserver un degré de chaleur plus considérable sous la pression de la mer que dans l'atmosphère, il est assez probable que les sources sous-marines sont plus chargées de silice qu'aucune de celles qui sont à notre portée. Les sources chaudes du val de Furnas, dans l'île de Saint-Michel, sortent de roches volcaniques, et précipitent d'immenses quantités d'une concrétion siliceuse, qu'on désigne sous le nom de *siliceous sinter*. Autour du bassin circulaire de vingt à trente pieds (6 à 9^{m}) de diamètre de la plus grande source, on voit des couches alternantes d'une variété grossière de *sinter* mélangé d'argile, renfermant des herbes, des fougères et des roseaux, à différents degrés de pétrification. Partout où l'eau de cette source a coulé, on trouve du *sinter*, qui, en quelques endroits, s'élève à huit ou dix pouces (20 à 25^{c}) au-dessus du niveau ordinaire du courant. L'herbe et les feuilles, plus ou moins incrustées de silice, offrent des exemples de pétrification à tous les degrés, à partir de l'état mou jusqu'à celui d'une transformation complète en pierre; mais, dans quelques cas, l'alumine, qui est aussi déposée par les sources thermales, constitue le principe minéralisateur. Des tiges de fougères appar-

(*) Daubeny, on Volcanos (Sur les Volcans, par Daubeny), p. 222.

tenant aux mêmes espèces que celles qui croissent aujourd'hui dans l'île, conservent, quoique complétement pétrifiées, le même aspect que lorsqu'elles étaient en pleine végétation ; leur couleur seule a changé, elle est devenue d'un gris cendré. Des fragments de bois, et un lit de trois à cinq pieds (90^{c} à 1^{m},5) de profondeur, entièrement composé de roseaux très communs dans l'île, ont été aussi complétement minéralisés.

La variété la plus abondante de *sinter* siliceux se présente en couches d'un quart de pouce à un demi-pouce (6 à 12^{mm}) d'épaisseur, souvent accumulées jusqu'à la hauteur d'un pied (30^{c}) ou même plus. Elles sont parallèles, et s'étendent pour la plupart horizontalement, sur des espaces de plusieurs mètres. Ce *sinter* est souvent d'un bel éclat, demi-opalin. Une de ses variétés diffère de celui d'Islande et d'Ischia par la grande proportion d'eau qu'elle contient, ainsi que par l'absence de l'alumine et de la chaux. Une brèche récente composée d'obsidienne, de ponce et de scories, cimentées par du *sinter* siliceux, est aussi en voie de se former (*).

Geysers d'Islande. — Mais de toutes les sources

(*) Dr Webster on the Hot Springs of Furnas (Sur les Sources Chaudes de Furnas, par le Dr Webster), Ed. Phil. Journ., vol. VI, p. 306.

Digitized by Google

chaudes qui fournissent de la silice, celles qu'on observe en diverses parties de l'Islande, et particulièrement les célèbres geysers, offrent l'exemple le plus remarquable de la précipitation de ce minéral (*). Les réservoirs circulaires dans lesquels tombe l'eau des geysers sont revêtus à l'intérieur d'une variété d'opale, et leurs bords sont couverts de concrétions siliceuses. Les végétaux incrustés de cette dernière substance offrent beaucoup de ressemblance avec ceux qui, dans notre pays, sont incrustés de tuf calcaire. Ils consistent en plantes diverses, en prêles (*Equisetum*), et surtout en feuilles de bouleau, quoique aucun arbre de cette espèce n'existe aujourd'hui dans le pays environnant. Les tiges pétrifiées du bouleau y présentent aussi beaucoup d'analogie avec le bois agatisé (**).

M. Faraday a constaté, par l'analyse de l'eau, que la solution de la silice est activée par la présence de la soude. Il admet que la précipitation de la silice à l'état insoluble est due en partie à ce que l'eau, quand elle est refroidie par suite de son exposition à l'air, ne peut retenir autant de silice que lorsqu'elle sort de la terre à une température de 180 ou 190° Fahr.

(*) Voyez une coupe du grand Geyser d'Islande, vol. III, ch. XI, du présent ouvrage.

(**) M. Robert, Bulletin de la Soc. Géol. de France, t. VII, p. 11.

(100 ou 105,60 cent.), et en partie à ce que pendant l'évaporation de l'eau, le sel de silice et de soude qui existait préalablement se décompose. Ce dernier changement est, suivant toute apparence, accéléré par l'union de l'acide carbonique de l'atmosphère avec la soude. L'alcali, au moment où il se sépare de la silice, se dissout sur-le-champ, et est entraîné par l'eau courante (*).

Ischia. — L'analyse a fait reconnaître que plusieurs des sources thermales d'Ischia sont chargées d'une certaine quantité de silice. Quelques unes des vapeurs chaudes qui s'exhalent de cette île ont une température supérieure à celle de l'eau bouillante; et, dans le voisinage du Montevico, un grand nombre de fissures, à travers lesquelles passe le courant de vapeurs, sont revêtues d'une incrustation siliceuse que le docteur Thompson a observée le premier, et qu'il a désignée sous le nom de fiorite.

Ava, etc. — Il a souvent été constaté que le Danube a converti en silice la partie extérieure des piles du pont de Trajan. On a supposé aussi, même depuis le père Duchatz, que l'Irâouaddi, dans le royaume d'Ava, et le Lough-Neagh, en Irlande,

(*) Barrow's Iceland (L'Islande, par Barrow), p. 209.

Digitized by Google

avaient la même propriété. Cependant, des recherches modernes faites dans l'empire Birman ont jeté quelque doute sur la propriété attribuée à l'Irâouaddi (*); et ce qui est rapporté au sujet du Lough-Neagh et du Danube ne paraît pas avoir plus de fondement.

Les eaux minérales, lors même qu'elles ne sont chargées que d'une petite quantité de silice, comme celles d'Ischia, peuvent fournir à certaines espèces de coraux, d'éponges et d'infusoires, la matière nécessaire pour leurs sécrétions siliceuses; mais on ne peut guère douter que la présence de la silice en solution dans les eaux des rivières ne tienne à une autre cause beaucoup plus générale, à la décomposition du feldspath. Quand ce minéral, que renferment en si grande abondance les roches hypogènes et trappéennes, est désagrégé, le résidu, que l'on connaît sous le nom de terre à porcelaine, ne contient qu'une petite quantité de la silice qui existait originairement dans le feldspath, le reste ayant été dissous et entraîné par l'eau (**).

Sources ferrugineuses. — Indépendamment de

(*) Dr Buckland, Geol. Trans., second series, vol. II, part. III, p. 384.

(**) Voyez les Eléments de Géologie; et le Dr Turner, Jam. Ed. New. Phil. Journ., no XXX, p. 246.

Digitized by Google

ce que les eaux de presque toutes les sources contiennent du fer en solution, un grand nombre d'entre elles sont, comme on le sait, assez fortement imprégnées de ce métal pour colorer les roches ou les herbages à travers lesquelles elles passent, et pour cimenter le sable et le gravier de manière à en faire des masses solides. On peut donc naturellement conclure de là que ce fer, qui se trouve continuellement envoyé de l'intérieur de la terre dans des lacs et dans des mers, d'où il ne se dégage point par l'évaporation, colore et cimente les dépôts actuellement en voie de se former sous les eaux. Les géologues pensent, en effet, que beaucoup d'anciens grès et d'anciens conglomérats sont liés ensemble ou colorés par le fer.

Sources salées. — La quantité de muriate de soude que renferment quelques sources est si considérable, que leurs eaux fournissent jusqu'à un quart de leur poids en sel. Toutefois, il est rare qu'elles en soient saturées, et indépendamment du sel, elles contiennent, généralement, du carbonate et du sulfate de chaux, de la magnésie, et diverses autres substances minérales. Les sources salées du Cheshire sont les plus riches de l'Angleterre : celles de Northwich sont presque saturées. Les eaux de Barton, dans le Lancashire, et de Droitwich, dans le Worcestershire, sont aussi extrêmement riches en prin-

Digitized by Google

cipes salins (*). On sait qu'elles ont coulé pendant plus de mille ans, et la quantité de sel qu'elles ont entraînée dans la Saverne et dans la Mercey doit être énorme. Ces sources salées jaillissent à travers des couches de grès et de marne rouge, qui renferment de grands bancs de sel gemme. Leur salure peut donc, ainsi que celle de plusieurs autres sources, être attribuée à la présence de ce minéral; mais comme le muriate de soude est un des produits des émanations volcaniques et des sources situées près des volcans, on en conclut que la cause qui engendre le sel peut se trouver à une aussi grande profondeur que la lave.

Les eaux de la mer Morte ne contiennent guère, dit le docteur Daubeny, d'autres substances que le sel muriatique — circonstance en harmonie avec l'origine volcanique du pays environnant, — ce sel étant un des produits les plus ordinaires des éruptions volcaniques. En Sicile, un grand nombre de sources contiennent du muriate de soude : le « fiume salso, » surtout, en renferme une telle quantité, que le bétail refuse de boire l'eau qui en sort.

Parmi les nombreuses sources chaudes de l'Auvergne, nous citerons celle de Saint-Nectaire, qui sort du granit, comme contenant une grande pro-

(*) L. Horner, Geol. Trans., vol. II, p. 94.

Digitized by Google

portion de muriate de soude, de magnésie et de diverses autres substances minérales (*).

Sources carbonatées. — Auvergne. — Dans tous les pays, mais particulièrement dans le voisinage des volcans brûlants ou éteints, les sources dégagent une très grande quantité de gaz acide carbonique. Ce fluide élastique a la propriété de décomposer plusieurs des roches les plus dures avec lesquelles il se trouve en contact, et surtout les roches si nombreuses où le feldspath entre comme élément constituant. Il rend l'oxide de fer soluble dans l'eau, et contribue, ainsi que nous l'avons déjà vu, à la solution de la matière calcaire. Dans les régions volcaniques, ces émanations gazeuses ne sont pas produites par les sources seulement; en plusieurs endroits elles jaillissent du sol à l'état de gaz pur. La grotte du Chien, près de Naples, fournit un exemple de ce phénomène; et dans la Limagne, en Auvergne, il se dégage annuellement des quantités considérables de ce gaz, qui ne paraissent pas avoir diminué depuis un temps immémorial. Comme il n'est pas visible, on ne reconnaît sa présence qu'en pratiquant une excavation dans laquelle il s'accumule presque instantanément, et lorsqu'on introduit dans cette cavité une bougie allumée, elle s'éteint aussitôt. Ce

(*) Annales de l'Auvergne, t. I, p. 231.

Digitized by Google

district renferme quelques sources dont l'eau bouillonne avec un grand bruit, par suite de l'abondance avec laquelle ce gaz se dégage. Toute la végétation s'en ressent : ainsi, plusieurs arbres, tels entre autres que le noyer, y viennent beaucoup mieux qu'ils ne viendraient ailleurs, le sol et le climat étant les mêmes ; ce qui peut être attribué à l'absorption de l'acide carbonique par les feuilles. La présence de ce gaz a été constatée aussi bien dans des sources sortant du granit aux environs de Clermont que dans celles qui s'échappent des calcaires tertiaires de la Limagne (*). Dans le voisinage de Pont-Gibaud, non loin de Clermont, une roche appartenant à la formation du gneiss, d'où l'on extrait le plomb, est entièrement imprégnée de gaz acide carbonique qui s'en dégage constamment. Les carbonates de fer, de chaux et de manganèse s'y trouvent aussi dissous au point que la dureté de la roche en est altérée ; le quartz seul n'est point attaqué (**). Près de là se trouve le petit cône volcanique de Chaluzet, qui, jadis, se fit jour à travers le gneiss, et émit un courant de lave.

De la décomposition produite par l'acide carbonique. — La décomposition du granit est un des

(*) Le Coq, Annales de l'Auvergne, t. I, p. 217, Mai, 1829.
(**) Annales Scient. de l'Auvergne, t. II, Juin, 1829.

Digitized by Google

traits les plus frappants des grands districts de l'Auvergne, de ceux surtout qui avoisinent Clermont. Cette altération a été appelée par Dolomieu « la maladie du granit, » et l'on pourrait dire avec raison que cette maladie est la carie (*the rot*), car la roche qui en est affectée se désagrège sous la main. Ce phénomène doit être attribué au dégagement continuel de gaz acide carbonique qui s'échappe par de nombreuses fissures.

Dans les plaines du Pô, entre Vérone et Parme, mais surtout à Villa Franca, au sud de Mantoue, j'ai observé de grands lits d'alluvion, formés surtout de galets provenant de roches primaires, à travers lesquels coule une eau de source chargée de carbonate de chaux et de gaz acide carbonique. Ces galets sont, pour la plupart, incrustés d'un certain dépôt calcaire, appelé *calc-sinter*, et les fragments de gneiss arrondis que l'on y trouve ont subi une telle décomposition par l'effet de l'acide carbonique, que, malgré l'apparence de solidité qu'ils offrent extérieurement, ils tombent en morceau avec la plus grande facilité.

La disparition de plusieurs des éléments constituants des roches due au pouvoir dissolvant de l'acide carbonique qui s'élève soit à l'état gazeux, soit avec l'eau des sources à travers les crevasses des rochers, doit être une des causes principales des changements

Digitized by Google

intérieurs et des arrangements nouveaux qui s'opèrent dans les molécules des roches, et qu'on a si souvent occasion d'observer dans les formations de toutes les époques. Très fréquemment, par exemple, il arrive que la matière calcaire des coquilles a entièrement disparu, et qu'elle se trouve remplacée par du carbonate de fer, des pyrites, de la silice ou quelque autre substance analogue à celles que les eaux minérales tiennent ordinairement en solution. Il est très rare que l'acide carbonique puisse dissoudre toutes les parties constituantes de la masse, excepté toutefois dans les roches calcaires, et c'est probablement par cette raison que ces roches sont presque les seules où se trouvent de grandes cavernes et de longues galeries sinueuses.

Sources de pétrole. — Les sources imprégnées de pétrole et des diverses autres substances analogues, telles que le bitume, le naphte, l'asphalte et la poix, sont très nombreuses et ont parfois, sans aucun doute, une liaison intime avec les feux souterrains qui élèvent ou subliment les parties les plus volatiles des matières bitumineuses que contiennent les roches. Plusieurs sources du territoire de Modène et de Parme, en Italie, produisent du pétrole en très grande abondance; mais les plus considérables, peut-être, de toutes celles

Digitized by Google

que l'on connaisse jusqu'à présent, sont situées près de l'Irâouaddi, dans l'empire Birman. On prétend que, dans une seule localité, il y a 520 puits qui fournissent chaque année 400,000 muids de pétrole (*).

Des deux côtés de l'île de la Trinidad, on voit le bitume liquide couler lentement et s'élever du fond de la mer jusqu'à la surface. Près du cap La Braye, il existe un tourbillon qui, suivant le capitaine Mallet, bouillonne, en temps d'orage, de manière à élever l'eau de cinq ou six pieds (1m,50 ou 1m,80), et couvre la surface, sur un espace considérable, de pétrole. Le même auteur cite Gumilla à l'occasion du fait que celui-ci mentionne dans sa « Description de l'Orénoque, » savoir, qu'il y a environ soixante-dix ans, un point de la côte occidentale de la Trinidad, situé à mi-chemin, à peu près, entre la capitale et un village indien, s'affaissa subitement, à la grande terreur des habitants, et fut remplacé par un petit lac de poix (**).

Lac de poix de la Trinidad. — Il est probable que le grand lac de poix de la Trinidad doit son origine à

(*) Symes, Embassy to Ava (Ambassade à Ava, par Symes) vol. II. — Geol. Trans. second series, vol. II, part. III, p. 388.

(**) Dr Nugent, Geol. Trans., vol. I, p. 69.

Digitized by Google

une cause semblable; et c'est avec raison que le docteur Nugent a remarqué que toutes les circonstances qui peuvent avoir contribué à la formation des dépôts de poix se trouvent aujourd'hui réunies dans ce district. L'Orénoque a, pendant des siècles, porté d'immenses quantités de bois et d'autres végétaux à la mer environnante, où, par l'influence des courants et des remous, ces corps ont pu être arrêtés et accumulés en certains points. La fréquence des tremblements de terre, et diverses autres indications de l'action volcanique dans ces régions, viennent à l'appui de l'opinion qui tend à admettre que ces substances végétales ont subi, par l'effet du feu souterrain, les transformations et altérations chimiques qui déterminent la production du pétrole. La même cause peut aussi l'élever à la surface, où, par suite de son contact avec l'air atmosphérique, il s'épaissit et forme les diverses variétés de poix pure et terreuse, ou d'asphalte, que l'on trouve en si grande abondance à la Trinidad (*).

Les schistes bitumineux si communs dans les formations géologiques de différents âges semblent, ainsi que plusieurs dépôts stratifiés de bitume et de poix, attester évidemment qu'à d'anciennes périodes il existait en diverses parties du monde autant de

(*) Id., p. 67.

Digitized by Google

sources imprégnées de matière bitumineuse qu'il peut y en avoir aujourd'hui, et que cette matière était probablement entraînée par les rivières dans des lacs et dans des mers. Il sera, du reste, facile de prouver qu'une grande partie des molécules les plus fines et des substances les plus cristallines, que l'on trouve dans des roches sédimentaires de différents âges, est composée d'éléments semblables à ceux qui, à l'époque actuelle, sont tenus en dissolution par les sources, et qu'il y a également une très grande analogie entre les matériaux les plus grossiers de ces mêmes roches et la matière alluviale que l'on observe dans les lits des rivières et des torrents actuels.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

EFFETS REPRODUCTEURS DES RIVIÈRES.

Division des deltas en lacustres, méditerranéens et océaniques. — Deltas lacustres. — Accroissement du delta du Rhône dans le lac de Genève. — Détermination de l'âge des deltas. — Dépôts récents accumulés dans le lac Supérieur. — Deltas formés dans les mers intérieures. — Abaissement rapide de la mer Baltique. — Delta marin du Rhône, et preuves de son accroissement. — De la nature pierreuse de ses dépôts. — Delta du Pô, de l'Adige, de l'Isonzo et de diverses autres rivières qui se jettent dans l'Adriatique. — De la transformation rapide de cette mer en terre ferme. — Caractères minéralogiques des nouveaux dépôts. — Delta du Nil.

Après avoir étudié l'action destructive et la force de transport de l'eau courante, nous allons maintenant examiner les effets reproducteurs de cette même cause, — effets dont il sera plus aisé de se faire une juste idée que d'apprécier la force d'excavation et de transport des rivières et des courants, car ici

Digitized by Google

nous aurons l'avantage d'apercevoir, sous une forme palpable, la totalité de la matière qui, dans la suite des siècles, s'est accumulée en certains points. Je vais choisir d'abord quelques uns des principaux faits aujourd'hui constatés relativement à l'accroissement des deltas; puis je présenterai quelques observations générales sur la quantité de sédiment transportée par les rivières, et sur la manière dont s'opère sa distribution sous les eaux des lacs et des mers.

Division des deltas en lacustres, méditerranéens et océaniques. — Les deltas peuvent être divisés en trois classes : 1° ceux qui se forment dans des lacs; 2° ceux qui sont engendrés dans des mers intérieures; et 3° ceux qui se produisent sur les bords de l'Océan. La distinction la plus caractéristique entre les deltas lacustres et les deltas marins consiste dans la nature des débris organiques qu'ils renferment. On conçoit, en effet, que dans les premiers, ces débris doivent provenir exclusivement d'animaux qui habitent la terre ferme ou les eaux des rivières ou des lacs, tandis que, dans les autres, il doit y avoir mélange, et même, le plus ordinairement, prédominance d'animaux marins. En ce qui regarde la distribution des matières inorganiques, les dépôts lacustres et ceux des mers intérieures offrent entre eux beaucoup d'analogie, mais ils se dis-

Digitized by Google

tinguent de ceux que l'on observe sur les rivages de l'Océan, où les marées et les courants donnent lieu à d'autres phénomènes. Dans les lacs, ainsi que dans les mers intérieures, même les plus grandes, les marées sont presque insensibles; mais les courants, comme on le verra plus tard, y circulent quelquefois avec une vitesse extrême.

DELTAS LACUSTRES.

Lac de Genève. — Il est naturel de commencer notre examen par l'étude des dépôts récents accumulés dans les lacs, puisqu'ils offrent les premiers indices de l'action reproductrice des rivières, quand elles transportent de régions montagneuses le détritus des roches, et les matières qui entrent dans la composition des sources minérales. Le terrain d'attérissement qui se forme à l'embouchure du Rhône, vers l'extrémité supérieure du lac de Genève, ou lac Léman, montre un exemple de l'épaisseur considérable que les strates déposées en ce point ont acquise depuis les temps historiques. La nappe d'eau qui constitue le lac de Genève a environ trente-sept milles (13') de longueur, sur deux à huit ($\frac{2}{3}$ de lieue à 3 lieues) de largeur. La forme du fond est très irrégulière, et, suivant des me-

Digitized by Google

sures récentes, sa profondeur varie entre vingt et cent soixante brasses (*). Le Rhône est trouble et sans couleur à l'endroit où il entre dans ce lac, c'est-à-dire vers son extrémité supérieure; à Genève, qui est le point où il en sort, ses eaux sont d'une limpidité remarquable. Une ville ancienne, que l'on nomme aujourd'hui Port Valais (Portus Valesiæ des Romains), et qui était située jadis sur le bord de l'eau, à l'extrémité supérieure du lac, se trouve actuellement à plus d'un mille et demi (une demi-lieue) dans l'intérieur des terres : cet espace s'est comblé en huit siècles environ. Le reste du delta consiste en une plaine d'alluvion très unie, de cinq ou six milles (2' environ) de long, et dont le niveau est un peu supérieur à celui du fleuve; elle est composée de sable et de limon, et couverte de marais.

Après de nombreux sondages exécutés dans toutes les parties du lac, M. de La Bèche a trouvé que la région centrale avait une profondeur à peu près uniforme de cent vingt à cent soixante brasses; mais il a reconnu qu'en approchant du delta, cette profondeur devenait de moins en moins considérable, la diminution commençant à être très sensible à une distance d'environ un mille trois quarts

(*) De La Bèche. Ed. Phil. Journ., vol. II, p. 107, Jan 1820.

Digitized by Google

($\frac{3}{4}$ de lieue environ) de l'embouchure du Rhône. Une ligne tirée de Saint-Gingoulph à Vevey donne une profondeur moyenne d'un peu moins de six cents pieds (183^{m}); et à partir de ce point jusqu'au Rhône, on trouve du limon fluviatile sur le fond (*). On peut donc admettre que les nouvelles strates produites chaque année sont déposées sur une pente dont la longueur est de deux milles ($\frac{2}{3}$ de lieue environ); de sorte que, malgré la grande profondeur du lac, les nouveaux dépôts n'ont pas une inclinaison considérable; le plongement des lits est si faible, au contraire, que, dans le langage géologique ordinaire, ils peuvent être dits horizontaux.

Il est probable que les strates consistent en dépôts alternants de particules fines et grossières; car, à l'époque de la fonte des neiges, c'est-à-dire pendant les mois les plus chauds de l'année, depuis avril jusqu'en août, la rivière atteint son maximum de vitesse et de volume, et elle reçoit alors des quantités considérables de sable, de limon, de matières végétales et de bois flotté, tandis que, pendant le reste de l'année, elle est comparativement d'autant plus basse que, suivant Saussure, la surface du lac est de six pieds (2^{m} environ) au-dessous du niveau à la première époque, sur toute son étendue.

(*) De La Bèche.

Digitized by Google

Si nous pouvions avoir une coupe des dépôts qui se sont formés pendant les huit siècles derniers, nous trouverions une série considérable de strates légèrement inclinées, s'étendant sur un espace de deux milles ($\frac{2}{3}$ de lieue) de long, à peu près, et dont l'épaisseur serait probablement de six cents à neuf cents pieds (183 à 274^{m}),—profondeur que le lac a dû avoir dans le principe à son extrémité supérieure. Cependant un grand nombre de deltas plus petits sont actuellement en voie de se former sur les bords du lac, aux embouchures des torrents rapides qui y amènent des masses considérables de sable et de cailloux. Le volume de l'eau est trop faible dans ces torrents pour qu'ils puissent répandre la matière transportée sur une étendue aussi vaste que celle où le Rhône dépose son sédiment. Par exemple, il existe une profondeur de quatre-vingts brasses à un demi-mille ($\frac{1}{6}$ de lieue) du rivage, en face du grand torrent qui se décharge à l'est de Ripaille, de sorte que l'inclinaison des strates accumulées dans ce petit delta doit être quatre fois environ aussi grande que celle des dépôts formés par le Rhône à l'extrémité supérieure du lac (*).

Fixations chronologiques de l'ancienneté des del-

(*) De La Bèche.

Digitized by Google

tas. — La capacité du bassin du lac Léman étant bien connue, il serait intéressant de chercher à déterminer dans combien d'années ce lac pourra être converti en terre sèche. On obtiendrait facilement les éléments nécessaires pour en établir le calcul, surtout si l'on voulait se contenter d'un chiffre approximatif. Le nombre de pieds cubes d'eau annuellement déchargée par la rivière dans le lac étant évalué, il resterait à déterminer, par une série d'expériences faites pendant les mois d'hiver et les mois d'été, la quantité de matière tenue en suspension ou en solution chimique par le Rhône. Il faudrait aussi tenir compte des matières pesantes qui sont entraînées vers le fond. Cela pourrait être estimé à l'aide des principes hydrostatiques, lorsque la grosseur moyenne du gravier, ainsi que le volume et la vitesse du courant pendant les différentes saisons de l'année, seraient connus. Enfin, supposant toutes ces observations faites, il sera toujours plus aisé d'estimer la valeur de l'accroissement futur que de l'agrandissement antérieur du delta, par la raison que l'on ne peut, sans beaucoup de peine, déterminer avec quelque précision la profondeur et l'étendue primitives de la partie du lac qui est déjà comblée. Et lors même que cette donnée serait obtenue au moyen du percement des strates, on ne pourrait encore évaluer qu'à

Digitized by Google

plusieurs siècles près le temps où le delta actuel du Rhône commença à se former; il nous serait impossible aussi d'en déduire l'époque à laquelle le lac Léman prit sa forme actuelle, parce que les eaux du fleuve peuvent y avoir coulé pendant des milliers d'années sans y déposer aucun sédiment. Il en eût été ainsi si les eaux eussent traversé d'abord une série de lacs supérieurs; et c'est ce qui a eu lieu réellement, comme l'indiquent le cours du Rhône entre Martigny et le lac de Genève, et mieux encore, les canaux de plusieurs de ses principaux tributaires.

Si, par exemple, on remonte la vallée de la Dranse, on trouve une succession de bassins, placés les uns au-dessus des autres, et renfermant chacun une vaste étendue de terrain d'alluvion uni, séparé du bassin voisin par une gorge rocheuse qui, jadis, servait évidemment de barrière à un lac. La rivière a comblé successivement tous ces lacs, et a partiellement détruit les barrières qui, aujourd'hui encore, continuent à être minées. Dans les régions montagneuses, presque toutes les vallées fournissent des preuves semblables de la destruction d'une suite de lacs, occasionnée par le remblai de certaines cavités et par la rupture des barrières rocheuses, — mode d'action à l'aide duquel l'eau courante tend sans cesse à rendre les dé-

Digitized by Google

clivités plus uniformes. Ainsi, avant de nous hasarder à faire la moindre conjecture sur l'époque à laquelle un delta a commencé à se former, nous devons nous familiariser avec les traits géographiques et l'histoire géologique de l'ensemble du système des hautes vallées qui communiquent avec le courant principal, et étudier avec soin les changements qu'ils ont subis depuis la dernière série de convulsions qui ont agité et altéré la configuration du sol.

Lac Supérieur. — Le lac Supérieur est la plus grande masse d'eau douce que l'on connaisse dans le monde. Sa circonférence présente un développement de plus de dix-sept cents milles géographiques lorsqu'on suit les sinuosités de ses rives (1), et sa longueur, mesurée sur une ligne brisée suivant le centre, est de plus de quatre cents milles; sa plus grande largeur dépasse cent cinquante milles géographiques. Quant à sa surface, elle est presque égale à celle de l'Angleterre, et sa profondeur moyenne varie entre quatre-vingts et cent cinquante brasses. Toutefois le capitaine Bayfield pense que son maximum de profondeur peut être évalué à deux cents brasses (366m) (*), de sorte que

(1) Un mille géographique, ou marin, égale 1852 mètres. T. M.

(*) Trans. of Lit. and Hist. Soc. of Quebec (Transactions de la Société Lit. et Hist. de Quebec), vol. I, p. 5, 1829.

Digitized by Google

le fond de ce lac serait, en quelques parties, de six cents pieds (183^{m}) inférieur au niveau de l'Atlantique, et que sa surface lui serait supérieure de la même quantité. Ainsi que les autres lacs du Canada, le lac Supérieur offre, en différents points, certaines indications qui portent à conclure que ses eaux avaient autrefois un niveau beaucoup plus élevé que celui qu'elles atteignent aujourd'hui; car on trouve à une distance considérable des rivages actuels, des lignes parallèles de cailloux roulés et de coquilles, qui s'élèvent les unes au-dessus des autres comme les gradins d'un amphithéâtre. Ces anciennes lignes de galets présentent la plus grande analogie avec les bancs que l'on observe aujourd'hui dans un grand nombre de baies, et atteignent souvent jusqu'à une hauteur de quarante à cinquante pieds (12 à 15^{m}) au-dessus du niveau actuel.

Comme les coups de vent les plus forts ne soulèvent pas les eaux à plus de trois ou quatre pieds (91^{c} ou 1^{m},22) (*), il s'ensuit que le niveau des rivages

(*) Le capitaine Bayfield remarque que le docteur Bigsby, à qui l'on est redevable de plusieurs communications relatives à la géologie des lacs du Canada, a été mal informé par les marchands de fourrures de ce pays, à l'égard de la hauteur extraordinaire (vingt ou trente pieds—6 ou 9^{m}), à laquelle il prétend que les vents d'automne élèvent l'eau du lac

Digitized by Google

en question doit être attribué soit à des tremblements de terre analogues à ceux qui ont exhaussé les côtes du Chili, soit à l'abaissement du lac, jadis occasionné par la destruction de ses barrières. Les courants qui déchargent leurs eaux dans le lac Supérieur sont au nombre de plusieurs centaines, sans compter les plus petits, et la quantité d'eau qu'ils y amènent est bien plus considérable que celle qui s'écoule par les Chutes de Ste.-Mary, la seule issue qu'on connaisse à ce lac. L'évaporation est donc très grande, et telle que la fait supposer une surface d'une aussi vaste étendue.

Du côté septentrional, qui est entouré de montagnes primaires, les rivières transportent de gros blocs avec du gravier et du sable, provenant principalement de roches granitiques et trappéennes. Le lac est traversé aussi en sens divers par des courants déterminés par la prédominance constante de vents très forts, à l'influence desquels on peut attribuer la dispersion en tous sens du limon fin sur de très grands espaces; car, ainsi que cela a été constaté par les nombreux sondages exécutés lors de la dernière reconnaissance, le fond du lac consiste généralement en une argile très adhérente, où l'on trouve des coquilles appartenant à des

Supérieur.—Trans. of Lit. and Hist. Soc. of Quebec, vol. I, p. 7, 1829.

Digitized

espèces qui vivent aujourd'hui dans ses eaux. Cette argile durcit à un tel point immédiatement après qu'elle est exposée à l'air, qu'on ne peut la briser sans l'aide du marteau. Elle fait légèrement effervescence avec l'acide nitrique affaibli, et affecte diverses couleurs en différentes parties du lac : ici elle est bleue, là rougeâtre, ailleurs blanche, et acquiert, en durcissant, beaucoup de ressemblance avec la terre de pipe (*). D'après ces indications, le géologue ne manquera pas de remarquer combien ces formations lacustres récentes d'Amérique présentent de rapports avec les argiles tertiaires et les marnes calcaires, d'origine lacustre, de la France centrale. Plusieurs des genres de coquilles les plus abondantes, telles que les Limnées et les Planorbes, sont les mêmes dans les deux formations. Quant aux autres débris organiques, tout porte à croire qu'il doit y avoir entre eux aussi la plus étroite analogie, comme j'essaierai de le démontrer d'une manière plus complète lorsque je traiterai de l'enfouissement des plantes et des animaux dans les dépôts récents.

DELTAS FORMÉS DANS DES MERS INTÉRIEURES.

Mer Baltique. — Après avoir jeté un coup-

(*) Trans. of. Lit. and Hist. Soc. of Quebec, vol. I, p. 5, 1829.

Digitized by Google

d'œil rapide sur les deltas lacustres en voie de se former de nos jours, nous sommes naturellement conduits à l'explication de ceux qui se produisent dans les mers intérieures.

L'abaissement, et la conversion en terre ferme de plusieurs portions de la mer Baltique, telles entre autres que les golfes de Bothnie et de Finlande, ont été démontrés par une série d'observations très exactes, dues, en grande partie, à la controverse animée à laquelle a donné lieu, depuis près d'un siècle, l'abaissement graduel du niveau de la Baltique. Comme je me propose de revenir sur ce sujet lorsque je traiterai du soulèvement lent et insensible qui se manifeste en divers points de la Suède, et produit un abaissement apparent dans le niveau des eaux de la mer Baltique et de l'Océan (*), je me bornerai, quant à présent, à établir que l'accroissement rapide des basses terres, dans le voisinage de Tornea, de Pitea et de Lulea, près de l'extrémité supérieure du golfe de Bothnie, est dû au concours de deux causes : l'accumulation du sédiment transporté par un grand nombre de rivières,

(*) Depuis que la troisième édition de cet ouvrage a été publiée, j'ai visité la Suède, et les doutes que j'avais exprimés d'abord, relativement à l'élévation graduelle de la terre ferme dans cette contrée, se sont entièrement dissipés. — Voyez le chapitre IX de la troisième partie.

et l'exhaussement, lent et général, de plusieurs pieds par siècle, qu'éprouvent le lit de la mer et la terre ferme elle-même.

Delta du Rhône. — Nous allons passer maintenant à l'examen de quelques uns des principaux deltas de la Méditerranée, qui a fourni, depuis les temps historiques, plus d'exemples qu'aucune autre mer intérieure de ces accroissements de terre ferme aux embouchures de certains fleuves. Après avoir parlé du delta lacustre qu'a produit le Rhône en Suisse, il nous reste à décrire le delta marin contemporain que forme ce même fleuve. A peine le Rhône a-t-il traversé le lac de Genève que la pureté de ses eaux est de nouveau troublée par le sable et le sédiment qu'y amène l'Arve, rivière qui descend impétueusement des sommets les plus élevés des Alpes, et entraîne le détritus granitique apporté chaque année par les glaciers du Mont-Blanc. Le Rhône reçoit ensuite une immense quantité de matières provenant des Alpes du Dauphiné, ainsi que des montagnes primaires et volcaniques de la France centrale; puis, lorsqu'enfin il entre dans la Méditerranée, il altère la teinte bleue des eaux de cette mer, en y introduisant un sédiment blanchâtre qui rend le courant d'eau douce perceptible jusqu'à la distance de six à sept milles (2 lieues à 2 lieues $\frac{1}{2}$).

Digitized by Google

Preuves de l'augmentation du delta du Rhône depuis les temps historiques. — La description que Strabon a laissée de ce delta est si peu en rapport avec sa configuration actuelle, que l'on peut en conclure qu'une altération complète a eu lieu dans la géographie physique du pays depuis le siècle d'Auguste. Il paraît, cependant, que la tête du delta, c'est-à-dire le point où il commence à se ramifier, n'a pas changé depuis le temps de Pline; car cet auteur rapporte que le Rhône se partageait, à Arles, en deux bras; c'est ce qui a lieu encore aujourd'hui, et la branche occidentale que l'on appelle le petit Rhône se subdivise de nouveau avant d'entrer dans la Méditerranée. L'accroissement de la base du delta, dans les dix-huit siècles derniers, est démontré par plusieurs monuments antiques très curieux. Le plus remarquable de ces divers témoignages est le grand et bizarre détour que forme l'ancienne voie romaine qui allait d'Ugernum à Béziers (*Bœtteræ*), en contournant Nîmes (*Nemausus*). Il est évident qu'à l'époque où ce chemin fut construit, on ne pouvait, comme à présent, traverser le delta en ligne droite, et que la mer ou des marais occupaient alors un espace qui, aujourd'hui, consiste en terre ferme (*). Astruc remarque aussi que toutes les

(*) Mém. d'Astruc, cités par M. de Hoff, vol. I, p. 289.

Digitized by Google

villes situées dans les basses terres, au nord de la vieille route romaine conduisant de Nîmes à Béziers, ont des noms d'origine celtique qui, suivant toute probabilité, leur ont été donnés par les premiers habitants de la contrée ; tandis que les noms des villes situées au midi de cette route, du côté de la mer, dérivent du latin : ces dernières furent donc évidemment fondées après l'introduction de la langue romaine.

Ce qui prouve encore la grande étendue de la terre ferme qui s'est formée depuis que les Romains ont fait la conquête des Gaules et qu'ils y ont établi des colonies, c'est que les auteurs romains n'ont jamais parlé des eaux thermales de Balaruc comme étant dans le delta, quoiqu'ils connussent bien celles d'Aix, ainsi que d'autres encore plus éloignées, et qu'ils y attachassent, comme à toutes les sources chaudes, en général, une grande importance. Les eaux de Balaruc doivent donc avoir jailli autrefois sous la mer, phénomène assez ordinaire sur les bords de la Méditerranée, et lors de l'accroissement du delta elles continuèrent à couler à travers les dépôts nouvellement formés.

Parmi les preuves les plus directes de l'augmentation de la terre ferme, on remarque que Mèze, décrite sous le nom de Mesua Collis, par Pomponius

Mela (*), comme étant une presqu'île, se trouve aujourd'hui très avant dans les terres. Notre-Dame-des-Ports, qui en 898 était aussi baignée par la mer, en est actuellement à une lieue. Enfin, Psalmodi, aujourd'hui dans les terres, à deux lieues du rivage, formait une île en 815. On trouve aussi, à différentes distances de la côte actuelle, plusieurs lignes anciennes de tours et de signaux nautiques, qui indiquent la retraite successive de la mer, chacune de ces lignes étant devenue, l'une après l'autre, inutile aux marins. Cette circonstance s'explique aisément lorsque l'on considère que la tour de Tignaux, érigée sur le rivage en 1737, en est déjà éloignée d'un mille (**).

La rencontre des eaux du Rhône et des courants de la Méditerranée déterminés par les vents du sud, amène la formation de barres aux embouchures de la rivière. Par ce moyen, des espaces considérables se trouvent séparés de la mer, puis du fleuve, quand ses canaux d'écoulement viennent à changer. Comme plusieurs de ces lagunes sont sujettes à donner entrée, soit aux eaux du fleuve quand il déborde, soit à celles de la mer, en temps d'orage, elles sont alternativement cou-

(*) Lib. II, c. v.

(**) Bouche, Chorographie et Hist. de Provence, vol. I, p. 23, cité par M. de Hoff, vol. I, p. 290.

Digitized by Google

vertes d'eaux douces et d'eaux salées. D'autres, après avoir été remplies d'eau salée, baissent souvent de niveau, par l'effet de l'évaporation, jusqu'à ce qu'elles deviennent plus salées que la mer elle-même, et il arrive ainsi que des dépôts considérables de muriate de soude se forment quelquefois dans ces salines naturelles.

Pendant les dernières années du règne de Napoléon, à l'époque où les lois d'accise étaient exécutées avec une grande rigueur, la police proscrivait sévèrement l'emploi de ce sel. Les coquilles fluviatiles et marines que l'on trouve dans ces petits lacs vivent souvent ensemble dans l'eau saumâtre; mais la nature différente des eaux qui s'y introduisent successivement donne lieu ordinairement à la production d'espèces arrêtées dans leur développement, et quelquefois à d'étranges altérations dans la forme et dans la couleur de ces espèces.

Lors de la reconnaissance que fit le capitaine Smyth de la côte de la Méditerranée, il trouva que, dans la direction de l'embouchure du Rhône, la profondeur de la mer augmente graduellement de quatre brasses jusqu'à quarante, sur un espace de six ou sept milles (2' ou 2' $\frac{1}{2}$) qu'occupe l'eau douce trouble. Il suit de là que l'inclinaison des nouveaux dépôts doit être trop faible pour qu'on puisse l'apprécier dans une étendue de section telle que celles que le géologue a

Digitized by Google

l'occasion d'observer lorsqu'il étudie d'anciennes formations. Quand le vent soufflait du sud-ouest, les vaisseaux employés à la reconnaissance de la côte étaient obligés d'abandonner leurs amarres ; puis, lorsqu'ils revenaient, les nouveaux bancs de sable du delta se trouvaient couverts d'une grande quantité de coquilles marines. On voit ainsi comment, à l'embouchure d'une rivière, des lits accidentels de coquilles marines transportées peuvent alterner avec des couches d'eau douce.

De la nature des dépôts de ce delta. — Il est parfaitement établi qu'une très grande partie du dépôt récent formé dans le delta du Rhône consiste en *roche solide*, et non en matière incohérente. Le Muséum de Montpellier possède un canon trouvé dans la mer, près de l'embouchure du fleuve ; il est enchâssé dans une roche calcaréo-cristalline. Sans cesse on extrait aussi des masses considérables d'une roche arénacée, cimentée de matière calcaire qui renferme des multitudes de coquilles brisées appartenant à des espèces récentes. Les observations nouvellement faites sur ce sujet confirment celles de Marsilli, qui, ayant remarqué que les dépôts terreux de la côte du Languedoc se transforment en une substance pierreuse, attribuait aux matières transportées avec le sable, par le

Digitized by Google

Rhône, une nature bitumineuse, saline et agglutinante (*). Si l'on considère le nombre de sources minérales chargées de carbonate de chaux qui se jettent, en différents points de la France, dans le Rhône et dans ses tributaires, on ne sera pas surpris de la dureté qu'acquiert ainsi le sédiment nouvellement déposé dans ce delta. On doit se rappeler que l'eau douce, amenée par les rivières dans la mer, étant plus légère que l'eau salée, flotte sur celle-ci, et reste à sa surface jusqu'à une distance assez considérable ; il en résulte qu'elle se trouve exposée à une évaporation aussi abondante que les eaux d'un lac. D'un autre côté, l'espace sur lequel l'eau douce se répand, à la jonction des grands fleuves et de la mer, peut être comparé, sous le rapport de l'étendue, à celui qu'occupent de très grands lacs.

Tout le monde sait aujourd'hui que la quantité d'eau enlevée par l'évaporation, dans certains lacs, est presque aussi considérable que celle qui y entre, et que dans quelques mers intérieures, comme la Caspienne, par exemple, ces deux quantités sont tout-à-fait égales. On peut donc supposer, d'après cela, que lorsqu'il ne se rencontre pas quelque fort courant, la plus grande portion, non seulement de la matière tenue en suspension dans l'eau, mais

(*) Hist. Phys. de la mer.

Digitized by Google

aussi de celle qui s'y trouve à l'état de solution chimique, peut être précipitée à peu de distance du rivage. Quand les éléments les plus ténus de cette matière ne sont qu'en très petite quantité, ils suffisent à peine pour fournir aux crustacés, aux coraux et aux plantes marines les particules terreuses nécessaires pour leurs sécrétions ; mais lorsqu'au contraire ils sont très abondants, comme cela a lieu généralement quand le bassin d'une rivière est situé en partie dans un district de volcans éteints ou en activité, il se forme des dépôts solides, et les coquilles, en même temps, se trouvent enfermées dans une masse rocheuse.

Delta du Pô. — La mer Adriatique présente l'assemblage des circonstances les plus favorables à la formation rapide d'un delta — un golfe qui pénètre très avant dans l'intérieur des terres — une mer sans marées et sans courants violents — et le tribut de deux grands fleuves, le Pô et l'Adige, sans compter beaucoup d'autres petits cours d'eau qui, d'un côté, arrosent une grande portion des Alpes, et de l'autre, quelques unes des plus hautes arêtes des Apennins. A partir du point le plus septentrional du golfe de Trieste, où se jette l'Isonzo, jusqu'au sud de Ravenne, on observe une série continue de points sur lesquels ont eu lieu des ac-

croissements récents de terre ferme, et qui, présentant un développement de plus de cent milles (36 lieues) en longueur, ont, depuis les vingt derniers siècles, augmenté de deux à vingt milles ($\frac{2}{3}$ de lieue à 7 lieues) en largeur. L'Isonzo, le Tagliamento, la Piave, la Brenta, l'Adige, le Pô et plusieurs autres rivières, contribuent à l'avancement de la ligne de côte, et à la diminution de la profondeur du golfe. D'un autre côté, le Pô et l'Adige peuvent être considérés maintenant comme entrant dans la mer par un delta commun, deux branches de l'Adige se trouvant réunies aux bras du Pô.

On prétend que par suite de la concentration des eaux débordées de ces courants depuis que le système d'endiguement est devenu général, la proportion de l'empiétement de la terre ferme sur l'Adriatique va sensiblement en augmentant, surtout au point où le Pô et l'Adige pénètrent dans cette mer. Adria, ville ancienne, qui avait donné son nom au golfe, et qui, au temps d'Auguste, était un port de mer, est maintenant à plus de huit lieues dans les terres. Ravenne aussi était jadis un port, et se trouve aujourd'hui à près de deux lieues du rivage. Cependant, même avant que l'usage des digues fût adopté, l'alluvion du Pô s'accumulait avec tant de rapidité dans l'Adriatique, que Spina, ville très ancienne, bâtie originairement dans le district de

Digitized by Google

Ravenne, à l'embouchure d'un grand bras du Pô, était, dès le commencement de notre ère, à quatre lieues et demie de la mer (*).

La plus grande profondeur de l'Adriatique, entre la Dalmatie et les Bouches-du-Pô, est de vingt-deux brasses; mais une partie considérable du golfe de Trieste et de l'Adriatique, en face de Venise, n'atteint pas celle de douze brasses. Plus loin, vers le sud, là où le golfe n'éprouve pas autant l'influence des grandes rivières qui y versent leurs eaux, il s'approfondit beaucoup. Donati, après en avoir dragué le fond, reconnut que les dépôts récents qui s'y trouvent, consistent partiellement en limon, et partiellement en une sorte de roche formée de matière calcaire incrustant des coquilles. Il a également constaté que des espèces particulières de testacés étaient groupées en certains points, et qu'elles s'incorporaient lentement soit avec le limon, soit avec les précipités calcaires (**). Olivi, aussi, a trouvé quelques dépôts de sable, et d'autres de limon, qui s'étendaient à mi-chemin, en travers du golfe, et il établit que leur distribution sur le fond était évidemment déterminée

(*) Voyez Brocchi, sur les divers auteurs qui ont traité de ce sujet. Conch. Foss. Subap., vol. I, p. 118.

(**) Id., vol. I, p. 39.

par le courant dominant (*). Il est donc probable que le sédiment fin de toutes les rivières qui se jettent dans la partie supérieure de l'Adriatique se trouve mélangé par l'influence du courant; et l'on peut considérer toutes les parties centrales du golfe comme se remplissant peu à peu de dépôts horizontaux semblables à ceux des collines Subapennines, et contenant quelques unes des mêmes espèces de coquilles. Le Pô n'amène actuellement à son delta que du sable fin et du limon, car il ne charrie aucun caillou au-delà du point où il se réunit à la Trébia, à l'ouest de Plaisance. Près des bords septentrionaux du bassin, l'Isonzo et le Tagliamento forment, ainsi que plusieurs autres courants, d'immenses lits de sable et quelques conglomérats, ce qui se conçoit facilement, puisque de hautes montagnes de calcaire Alpin avoisinent la mer à la distance de quelques milles seulement.

Les bains chauds de Monfalcone se trouvaient, au temps des Romains, dans une des îles de calcaire Alpin que, vers le nord, un bras de mer, d'un mille de large environ, séparait du continent. Aujourd'hui, ce détroit est converti en une plaine couverte de pâturages, qui entoure les îles de toutes parts. Parmi les changements nombreux

(*) Voyez Brocchi, ouvrage qui vient d'être cité, vol. II, p. 94.

Digitized by Google

qu'a subis cette côte, nous citerons le déplacement de l'Isonzo ; il coule actuellement à plusieurs milles à l'ouest de son ancien canal, où l'on a trouvé récemment, près de Ronchi, l'ancien pont Romain qui traversait la voie-Appienne enfoui dans la vase fluviatile.

Quoique la profondeur actuelle du golfe de Venise soit extrêmement limitée, tout porte à croire qu'originairement, elle était fort considérable ; car si toutes les basses terres d'alluvion étaient enlevées des bords de ce golfe et remplacées par la mer, les hautes terres se termineraient de la manière brusque qui, dans la Méditerranée, indique généralement une grande profondeur de l'eau près du rivage, excepté toutefois dans les points où le sédiment transporté par les rivières et par les courants a élevé le fond de cette mer. Il est reconnu maintenant que plusieurs parties de la Méditerranée, voisines du rivage, ont plus de deux mille pieds (610^{m}) de profondeur, ainsi que cela a été constaté entre Nice et Gênes, et que même, parfois, elles atteignent jusqu'à six mille pieds (1828^{m}), comme près de Gibraltar. Lors donc que l'on trouve près de Parme, et dans d'autres districts intérieurs de l'Italie, des lits de marne tertiaire horizontaux de deux mille pieds (610^{m}) d'épaisseur, ou quand on rencontre, aux environs de Nice, des couches inclinées de conglomérat appartenant

Digitized by Google

à la même période, de plus de mille pieds (305^{m}) de puissance, et s'étendant sur un espace de sept à huit milles ($2^{l}\frac{1}{3}$ à $2^{l}\frac{2}{3}$) de longueur, il n'est rien là que, par analogie, les deltas de l'Adriatique ne nous aient fait pressentir.

Côte de l'Asie-Mineure. — La côte méridionale de l'Asie-Mineure offre quelques exemples de l'empiétement de la terre ferme sur la mer. Le capitaine Beaufort a signalé, dans la reconnaissance qu'il a faite de cette côte, les changements considérables qui s'y sont produits depuis le temps de Strabon. Ici, des ports ont été comblés; là, des îles se sont réunies au continent, qui s'est agrandi de plusieurs milles. Strabon lui-même, en comparant la configuration de la côte telle qu'elle existait de son temps avec celle qu'elle avait à des périodes antérieures, fut, ainsi que l'observateur moderne dont nous parlions tout-à-l'heure, fermement convaincu qu'elle avait considérablement augmenté aux dépens de la mer. Les formations récentes de l'Asie-Mineure consistent en dépôts qui ont la consistance de la pierre, et non en matières incohérentes. Presque tous les petits courants et les rivières de cette région tiennent, comme plusieurs de ceux de la Toscane et de la partie méridionale de l'Italie, une quantité considérable de carbonate de

Digitized by Google

chaux en solution, et précipitent du travertin ; quelquefois les sables et le gravier y sont liés de manière à former des conglomérats et des grès solides. Chaque delta et chaque barre de sable acquièrent ainsi une solidité qui souvent empêche les courants de les traverser, de sorte que les embouchures de ces derniers changent continuellement de place (*).

Delta du Nil. — Avant Hérodote, les prêtres de l'Égypte croyaient que cette contrée était « un présent du Nil » ; et Rennell observe que la « configuration et la composition des basses terres ne permettent pas de douter que jadis la mer baignait le pied des rochers sur lesquels reposent les pyramides de Memphis, dont la base actuelle, quoique élevée de soixante-dix à quatre-vingts pieds (21 à 24m) au-dessus du niveau de la Méditerranée, est baignée par les eaux du Nil, lors de ses débordements. Mais, ajoute-t-il, lorsqu'on essaie de se reporter à l'époque où le delta commença à se former, l'esprit se perd en considérant un laps de temps aussi long (**). Suivant Hérodote, « le pays situé à l'entour de Memphis semblait avoir été jadis un bras de

(*) Karamania, or a brief Description of the Coast of Asia Minor (De la Karamanie, ou Description succincte de la Côte de l'Asie-Mineure, etc.), Londres, 1817.

(**) Géographie d'Hérodote, vol. II, p. 107.

Digitized by Google

mer que le Nil aurait comblé peu à peu, à la manière dont le Méandre, l'Achéloüs, et divers autres courants, avaient formé des deltas. L'Égypte, dit-il, était donc autrefois, comme la Mer Rouge, une longue baie, étroite, séparée de cet autre golfe par un petit isthme. Or, si, par un événement quelconque, le Nil venait à communiquer avec le Golfe Arabique, il pourrait le combler de terre en vingt mille ans, ou même peut-être en dix mille; dès lors, qu'y aurait-il d'impossible à ce que le Nil eût rempli de limon un golfe encore plus grand dans l'espace de temps qui s'est écoulé avant la période actuelle (*)?»

Le lit du fleuve lui-même, dit sir J. G. Wilkinson, subit une augmentation graduelle d'élévation qui varie en différents points, et diminue à mesure que ses eaux approchent de la mer. « Cette augmentation d'élévation, en ligne perpendiculaire, est bien plus petite dans la Basse que dans la Haute Égypte, et, dans le delta, elle est moindre encore; de sorte que, suivant un calcul approximatif, on peut admettre que le sol près d'Éléphantine, ou la première cataracte, latitude 24° 5′, a été élevé de neuf pieds (2m,7) en dix-sept cents ans; qu'à Thèbes, par 25° 43′ de latitude, cette élévation a été de sept pieds (2m) environ; et qu'à Héliopolis, ainsi qu'au Caire, latitude 30°, elle a été de cinq pieds dix pou-

(*) Euterpe, XI.

Digitized by Google

ces (1m,78c) à peu près. A Rosette et aux embouchures du Nil, par 31°, 30′ de latitude, l'épaisseur perpendiculaire du dépôt diminue dans une proportion beaucoup plus grande que dans l'étroite vallée de l'Égypte Centrale et Supérieure, ce qui tient à la vaste étendue sur laquelle l'inondation se répand, tant à l'est qu'à l'ouest (*). »

Or, c'est par cette raison que le dépôt d'alluvion ne donne pas lieu à un accroissement rapide du delta, bien que quelques villes anciennes se trouvent aujourd'hui à un mille ($\frac{1}{3}$ de lieue), ou même plus, dans l'intérieur des terres; que plusieurs des bouches du Nil, mentionnées par les géographes anciens, aient été envasées, et que le contour de la côte ait subi un changement complet.

On trouve dans Homère que « la distance de l'île de Pharos à Ægyptus était égale à celle qu'un vaisseau pouvait parcourir en un jour, par un vent favorable. » Cette île se trouve maintenant près du rivage, auquel elle est unie par une digue artificielle, — état de choses que Strabon et plusieurs autres auteurs ont expliqué en admettant que l'accroissement du delta, depuis le temps d'Homère, avait réuni l'île au continent (**); mais sir J. Wilkinson ayant remarqué qu'Homère emploie souvent le mot Ægyp-

(*) Journal of Roy. Geograph. Soc., vol. IX, p. 432.
(**) Lib. I, part. 1, p. 80, 98.

Digitized by Google

tus pour désigner le Nil, en conclut qu'il a voulu dire simplement que Pharos était à une journée de navigation de ce fleuve, ou de sa principale embouchure.

Le lit du Nil se maintient à un niveau proportionnel à l'élévation générale du sol, et ses bords, comme ceux du Mississipi et des tributaires de ce fleuve (*voyez* page 40), sont beaucoup plus hauts que la plaine qui les avoisine jusqu'à une certaine distance, de sorte que, même pendant les plus fortes inondations, ils se trouvent rarement sous les eaux. Par suite de l'élévation graduelle du lit de la rivière, ses débordements annuels se répandent sur des espaces de plus en plus considérables, et, chaque jour, l'alluvion empiète davantage sur le désert; aujourd'hui elle recouvre, jusqu'à la hauteur de six à sept pieds (1^{m},8 à 2^{m},1), la base de statues et de temples que les eaux n'atteignaient jamais il y a trois mille ans. Quoique les sables des déserts de la Libye aient été, en quelques points, transportés dans la vallée du Nil, cette cause de stérilité, dit Wilkinson, est beaucoup plus que compensée par les propriétés fertilisantes de l'eau qui se répand aujourd'hui dans l'intérieur des terres, plus avant du côté du désert, de sorte que le nombre de milles carrés du sol cultivable est plus grand à présent qu'il ne l'a été à aucune autre époque antérieure.

Digitized by Google

Limon du Nil. — L'analyse de ce limon a fait reconnaître qu'il contient environ moitié de terre argileuse, un quart de carbonate de chaux, et près d'un dixième de carbone ; le reste consiste en eau, en silice, en oxide de fer et en carbonate de magnésie (*).

En plusieurs lieux, comme au Caire, où l'on a pratiqué des excavations artificielles, ou bien dans les endroits où la rivière a miné ses bords, on voit le limon disposé en strates minces. La partie supérieure de chaque couche déposée annuellement consiste en terre d'une couleur plus claire que celle de la partie inférieure, et le tout se distingue aisément du dépôt de l'année suivante. Chaque année, ces couches varient d'épaisseur ; mais d'après les calculs de Girard et de Wilkinson, leur épaisseur moyenne annuelle, au Caire, ne peut pas excéder celle d'une feuille de carton mince, d'où il suit qu'une strate de deux à trois pieds (61 à 91c) doit représenter l'accumulation produite en dix siècles.

La profondeur de la Méditerranée est de douze brasses environ, à peu de distance du rivage du delta ; elle augmente ensuite graduellement jusqu'à cinquante brasses, puis, descend tout d'un coup à trois cent quatre-vingts, ce qui est, peut-être, la pro-

(*) Girard, Mém. sur l'Egypte, t. I, p. 348, 382.

Digitized by Google

fondeur initiale de la mer dans les points où les dépôts fluviatiles n'en ont pas exhaussé le fond. L'avancement du delta pendant les vingt siècles derniers, ne fournit peut-être aucun moyen d'évaluer la proportion de son accroissement, lorsqu'il formait une baie intérieure, et qu'il n'avait point encore dépassé la ligne de côte de la Méditerranée. De nos jours, un courant puissant longe, en les balayant, les rivages de l'Afrique, depuis le détroit de Gibraltar jusqu'à la proéminence convexe de l'Égypte, dont le côté occidental est sans cesse exposé à l'action des vagues. Ce courant non seulement empêche la terre ferme d'acquérir aucune augmentation, mais de plus il entraîne d'anciennes parties du delta, et c'est à cette cause que l'on attribue la destruction de Canopus et de plusieurs autres villes. Mais je reviendrai sur ce sujet en traitant des marées et des courants.

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

DELTAS OCÉANIQUES.

Deltas du Gange et du Barrampooter. — Formation et destruction de plusieurs îles dans le lit de ces deux fleuves. — Du grand nombre de crocodiles que renferment les eaux du Gange et de ses affluents. — Inondations. — Delta du Mississipi. — Accumulations de bois transportés par le courant. — Comblement de la Mer Jaune. — De la grande quantité de limon charriée par le Gange. — Formation de vallées expliquée par l'accroissement des deltas. — De l'arrangement des strates nouvelles en général. — Convergence des deltas. — Conglomérats. — Causes diverses de stratification. — Direction des feuillets. — Remarques sur les échanges qui s'opèrent entre la terre ferme et la mer.

Les derniers deltas dont nous ayons à nous occuper sont ceux où les rivières, en se jetant dans la mer, sont exposées à l'influence des marées. Dans ce cas, il y a souvent production d'estuaire, ou de delta négatif, suivant l'expression du Major Rennell, lorsqu'au lieu d'un empiétement de la terre ferme sur la mer, l'Océan entre dans l'embouchure de la

Digitized by Google

rivière, et pénètre dans le continent, au-delà de la ligne générale des côtes. Mais comme sur les points où ce phénomène s'opère, les principaux agents de la distribution du sédiment sont les marées et les courants, je ne traiterai de cette sorte d'estuaires que lorsqu'il sera question des mouvements de l'Océan. Quant aux deltas océaniques, dont je vais présenter quelques exemples, ils se trouvent produits chaque fois que le volume de l'eau douce est assez considérable pour contrarier ou même pour neutraliser presque entièrement l'action des marées et des courants, et lorsque ces agents n'ont pas une force suffisante pour transporter au loin la totalité du sédiment charrié périodiquement par les rivières.

Delta du Gange. — Le Gange et le Barrampooter se rendent, en descendant des montagnes les plus hautes du globe, dans un golfe qui pénètre de deux cent vingt-cinq milles (81[l]) dans l'intérieur des terres. Le Barrampooter est un peu plus grand que le Gange; mais il prend le nom de Megna, sous le 24e degré de latitude N., à l'endroit où un petit courant ainsi appelé vient se joindre à lui. Il perd ensuite ce second nom lorsqu'à la distance de quarante milles (14[l] $\frac{1}{3}$) de la mer, la branche principale du Gange confond ses eaux avec les siennes. Le delta du Gange (sans y comprendre celui du Bar-

Digitized by Google

rampooter qui en est aujourd'hui tout-à-fait limitrophe) surpasse de plus du double l'étendue du delta du Nil. Sa pointe s'avance dans la mer en ligne droite, à la distance de deux cent vingt milles (80'), et sa base, qui s'étend entre les deux grands bras du Gange, a deux cents milles (72') de longueur. La partie du delta qui borde la mer est formée d'un labyrinthe de rivières et de criques, remplies d'eau salée, à l'exception de celles qui communiquent immédiatement avec le bras principal du Gange. Cet espace, connu sous la dénomination de *Sonderbonds*, est un véritable désert servant de refuge aux tigres et aux alligators, et offrant à lui seul, suivant Rennell, une étendue aussi considérable que la principauté de Galles (*).

On observe sur le rivage huit grandes ouvertures dont chacune a, suivant toute apparence, jadis servi successivement de principal canal de décharge. Quand la rivière est basse, le flux et le reflux de la marée se font sentir jusqu'à la pointe du delta; mais lorsqu'elle est grossie périodiquement par les pluies tropicales, la vitesse du courant contrarie celui de la marée, de sorte qu'à l'exception des points les plus

(*) Account of the Ganges and Burrampooter Rivers, by Major Rennell, Phil. Trans. (Mémoire sur le Gange et le Barrampooter, par le Major Rennell, Transactions Philosophiques), 1781.

Digitized

rapprochés de la mer, le flux et le reflux deviennent insensibles. Pendant la saison du débordement, le Gange prend donc jusqu'à un certain point le caractère des rivières qui se jettent dans un lac ou dans une mer intérieure, les mouvements de l'Océan se trouvant alors subordonnés à la force du courant d'eau douce, et ne troublant que très peu son action. L'accroissement du delta en hauteur et en étendue a lieu au moment des inondations; mais pendant les autres saisons de l'année, l'Océan use de représailles, soit en balayant les canaux, soit même quelquefois en dévorant de riches plaines d'alluvion.

La quantité de sable et de limon transportée par le Gange dans le golfe pendant la saison du débordement est si grande, que la mer ne recouvre sa transparence qu'à soixante milles (22') de la côte. On peut juger, d'après cela, que la pente des nouvelles couches doit être très sensible. Suivant les cartes les plus récentes, il paraît que la profondeur augmente dans la proportion de quatre brasses à soixante, depuis la base du delta jusqu'à la distance de cent milles (36') dans la Baie du Bengale. A cette distance, la profondeur est quelquefois de soixante-dix et même de cent brasses.

Une exception remarquable, pourtant, vient altérer la régularité de la forme du fond Vis-à-vis du milieu du delta, il existe, à trente ou quarante

milles (11 à 15') de la côte, un espace à peu près circulaire, désigné sous le nom de « *Swatch of no ground* (espace sans fond), » qui a quinze milles (5') environ de diamètre. Des sondages de cent et cent trente brasses n'en atteignent pas le fond. Ce phénomène est d'autant plus extraordinaire que la dépression a lieu à cinq milles (un peu moins de 2 lieues) de la ligne des hauts-fonds, et que non seulement les eaux chargées des sédiments du Gange passent continuellement au-dessus, mais que, pendant l'époque où règnent les moussons, la mer, chargée de limon et de sable, se trouve repoussée dans cette direction vers le delta. Comme on sait que le limon se répand jusqu'à la distance de quatre-vingts milles (29') dans le golfe, on conçoit qu'une énorme épaisseur de matière doive s'être déposée dans « l'espace sans fond, » et l'on peut en conclure, ou que la profondeur originaire de cette partie de la Baie du Bengale était très considérable, ou que des dépressions se sont produites dans les temps modernes. Cette dernière conjecture est la moins improbable, en raison des bouleversements dus aux tremblements de terre que la région voisine de Chittagong a éprouvés depuis la période historique, et du peu d'éloignement de « l'espace sans fond » par rapport à la ligne volcanique qui lie Sumatra et l'île de Barren à Assam (*).

(*) Voyez M' Clelland's Report on Geol. of India, and

Vis-à-vis de l'embouchure de la rivière Hougly, au midi de l'île Sangor, et à quatre milles ($1\frac{1}{3}$) du point le plus rapproché du delta, un nouvel îlot fut formé, il y a vingt ans environ. On lui donna le nom d'Edmonstone, et, en 1817, on y érigea un fanal, pour en marquer la place. En 1818, l'île avait atteint une longueur de deux milles ($\frac{2}{3}$ de lieue) et une largeur d'un demi-mille ($\frac{1}{6}$ de lieue); de plus, elle était couverte de végétation et d'arbustes. On y bâtit alors quelques maisons, et en 1820 elle put servir de point de station pour les pilotes. Le grand vent de 1823 la divisa en deux parties, de sorte qu'elle se trouva réduite à n'avoir que les dimensions nécessaires pour maintenir le fanal, qui, après avoir résisté pendant sept ans, finit par être entraîné. En 1836, l'îlot, par suite de plusieurs orages successifs, fut transformé en un banc de sable d'un demi-mille ($\frac{1}{6}$ de lieue) de long, sur lequel on plaça un signal nautique.

Quoique sur quelques points on observe des traces évidentes d'empiétement, l'accroissement général de la côte est très lent, ainsi que cela s'explique par la force avec laquelle les marées, qui s'élèvent de treize à seize pieds (4 à 5^m), entraînent la matière alluviale,

map of Volcanic Bands (Mémoire sur la Géologie de l'Inde, de Mr Clelland, et carte des Bandes Volcaniques), pl. VI, liv. II, chap. X.

Digitized by Google

et la dispersent sur une vaste étendue. Les nouvelles couches consistent entièrement en sable et en limon fin : telles sont, du moins, les seules matières disposées en lits réguliers que l'on aperçoive sur les bords des criques nombreuses qui se trouvent dans ces parages. On ne rencontre de substance aussi grossière que le gravier en aucun point du delta, ni à moins de quatre cents milles (145[l]) de distance de la mer.

Formation et destruction d'îles. — Le major R. H. Colebrooke, dans sa description du cours du Gange, rapporte plusieurs exemples de la rapidité avec laquelle quelques unes des branches de ce fleuve ont été comblées ; il cite aussi l'excavation de plusieurs canaux nouveaux qui, dans un laps de temps très court, a donné lieu au déplacement d'un nombre de milles carrés de terrain si considérable que le dépôt ainsi formé avait cent quatorze pieds (34[m],75) de haut. Entre autres faits de cette nature, il parle d'une étendue de quarante milles carrés (plus de 5 lieues carrées), ou 25,600 acres, qui ont été entraînés en un certain point dans le cours de peu d'années (*). L'immense quantité de matière terreuse que transportent le Gange et la Megna est attestée

(*) Trans. of the Asiatic Soc. (Transactions de la Société Asiatique), vol. VII, p. 14.

Digitized by Google

par la grandeur des îles qui se sont formées dans leur lit pendant un espace de temps de beaucoup inférieur à la durée de la vie d'un homme. Quelques unes de ces îles, dont l'étendue est de plusieurs milles, n'étaient à l'origine que de grands bancs de sable accumulés autour des saillants que présentait le tournant angulaire de la rivière, mais qui, ensuite, furent isolés par des passages que le courant y pratiqua. D'autres, formées dans le canal principal, sont dues à quelque obstacle venant du fond. Un grand arbre, ou un bateau échoué, suffit quelquefois pour arrêter le courant et occasionner un dépôt de sable qui s'accumule jusqu'à ce qu'il ait envahi une portion considérable du canal. La rivière, alors, mine ses bords pour retrouver la place qui lui manque, et l'île acquiert une élévation toujours croissante par l'effet des nouveaux dépôts qui résultent de chaque inondation. Quelques unes des îles du grand golfe situé au-dessous de Lokipour et formé par les eaux du Gange et de la Megna, rivalisent, dit Rennell, en grandeur et en fertilité, avec l'île de Wight. Mais tandis qu'en certains points, la rivière forme de nouvelles îles, ailleurs elle en détruit d'anciennes. Les nouvelles sont bientôt entièrement couvertes de roseaux, de longues herbes, de *Tamarix Indica* et de divers autres arbustes qui forment des ombrages impénétrables, et servent de retraite à des

tigres, à des buffles, à des daims et à d'autres animaux sauvages. D'après cela, il est facile de juger que des débris d'animaux et de végétaux doivent être continuellement précipités dans le fleuve, et se trouver enfouis dans le sédiment qui s'accumule dans le delta.

Deux espèces de crocodiles, de genres différents, abondent dans le Gange, ainsi que dans ses affluents et dans les eaux qui l'avoisinent. M. H. T. Colebrooke m'a dit en avoir vu des deux espèces, à plusieurs centaines de milles dans l'intérieur des terres. Le crocodile du Gange, ou gavial, ne se trouve que dans l'eau douce, mais le crocodile ordinaire habite l'eau douce et l'eau salée, et il est beaucoup plus féroce dans celle-ci ou dans l'eau saumâtre que dans la première. Ces animaux abondent dans l'eau saumâtre, sur toute la ligne des bancs de sable où l'accroissement du delta est le plus rapide. On les voit réunis par centaines dans les criques du delta, ou se chauffant au soleil sur les hauts-fonds. Ils attaquent les hommes et le bétail, se jetant sur les premiers quand ils se baignent dans le fleuve, et sur les animaux domestiques ou sauvages qui viennent s'y abreuver. « J'ai été témoin assez souvent, » dit M. Colebrooke, « de l'horrible spectacle d'un cadavre flottant, saisi par un crocodile avec une telle avidité,

Digitized by Google

que celui-ci, pour mieux tenir sa proie, restait à moitié hors de l'eau. « Le géologue ne manquera pas de remarquer à quel point les mœurs et la distribution de ces sauriens les exposent à être enfouis dans les couches horizontales de limon fin qui sont déposées chaque année sur plusieurs centaines de milles carrés dans la Baie du Bengale. Les habitants du pays qui viennent à être noyés ou jetés dans l'eau sont la proie de ces reptiles voraces; et l'on peut supposer que leurs débris aussi sont continuellement enfouis dans les nouvelles formations.

Inondations. — Il arrive quelquefois, au moment où le débordement périodique atteint son maximum de hauteur, qu'un vent violent, agissant simultanément avec une grande marée, arrête le courant du fleuve, et donne lieu aux inondations les plus destructives. Telle est la cause qui, en 1763, éleva les eaux, à Lokipour, de six pieds (1m,80) au-dessus de leur niveau ordinaire. Ce débordement occasionna la destruction totale des habitants d'un district considérable, et entraîna aussi toutes les maisons et le bétail.

Les populations de tous les deltas océaniques sont particulièrement exposées à de pareiles catastrophes, qui, bien heureusement, ne se renouvellent

Digitized by Google

qu'à des intervalles de temps considérables. Quoi qu'il en soit, on peut supposer, en toute assurance, que des événements de ce genre ont eu lieu souvent depuis que le delta du Gange est habité par l'espèce humaine. Or, si l'expérience et la prévoyance de l'homme ne peuvent pas toujours le garantir de telles calamités, on conçoit que les animaux inférieurs doivent bien moins encore pouvoir les éviter; et l'on doit s'attendre à trouver dans les couches de tous les âges, un grand nombre de monuments de ces désastreuses inondations, si la surface de notre planète a toujours été régie par les mêmes lois. Quand on réfléchit à l'ordre général qui subsiste dans la Nature et a la tranquillité qui règne dans le riche et populeux delta du Bengale, malgré les ravages qu'y exerce quelquefois l'Océan, on voit combien il est peu nécessaire, pour expliquer l'enfouissement des races successives d'animaux dans les formations anciennes, d'attribuer une énergie extraordinaire aux causes de destruction et de reproduction qui agissaient pendant l'enfance de notre planète, ou d'admettre les catastrophes générales et les révolutions soudaines auxquelles ont recours quelques théoriciens.

Delta du Mississipi. — Le delta du Gange pouvant être considéré comme le type de tous ceux

Digitized by Google

qui se sont formés sur les bords de l'Océan, il est inutile de citer d'autres exemples du même genre, quoique bien des fleuves, tels que l'Orénoque et les Amazones, offrent à leur embouchure, sur une échelle non moins vaste, des phénomènes analogues. Je reviendrai toutefois à ceux qui sont particuliers à ces deux rivières, lorsque je traiterai de l'action des courants. Les marées sont si faibles dans le Golfe du Mexique, que le delta du Mississipi présente, en quelque sorte, un caractère intermédiaire entre les deltas océaniques et les deltas méditerranéens. Une langue de terre longue et étroite, qui forme les bords de la rivière, se projette en avant, offrant exactement le même aspect que dans les plaines de l'intérieur du continent, quand, au moment des inondations périodiques, rien ne dépasse le niveau de l'eau, si ce n'est la partie la plus élevée du glacis que nous avons déjà décrit (*). Cette langue de terre s'est avancée de plusieurs lieues depuis que la Nouvelle-Orléans est bâtie. De grands dépôts sous-marins sont aussi en voie de se former sur une vaste étendue du fond de la mer, qui est devenue extrêmement basse : elle n'a pas plus de dix brasses de profondeur. Vis-à-vis de l'embouchure du Mississipi, de grand *rafts*, entraînés chaque printemps

(*) Chap. II.

Digitized by Google

par le courant, sont entrelacés à la manière d'un filet; ils ont plusieurs mètres d'épaisseur et s'étendent sur des centaines de lieues carrées (*). Un limon fin les recouvre ensuite; puis, l'année d'après, d'autres couches d'arbres se déposent sur ce limon, et cela se répète ainsi successivement jusqu'à ce que de nombreuses alternances de matière végétale et terreuse soient accumulées.

Une observation de Darby, à l'égard des couches qui composent une partie de ce delta, mérite attention. La coupe que nous allons décrire peut être observée au moment des basses eaux sur les bords escarpés de l'Atchafalaya, un des bras du Mississipi dont nous avons déjà parlé à l'occasion des *rafts*. La couche supérieure de cette coupe est constamment formée d'une argile bleuâtre, assez commune sur les bords du Mississipi; vient ensuite un lit de terre rouge ocreuse, particulière à la Rivière Rouge, sous lequel l'argile bleue du Mississipi reparaît encore. Cet arrangement, qui est constant, prouve, ainsi que Darby le remarque, qu'à d'anciennes périodes les eaux du Mississipi et de la Rivière Rouge occupaient alternativement des étendues considérables au-dessous de leur point de jonction actuel (**). Tout porte à

(*) Captain Hall's Travels in North America, vol. III, p. 338. — Voyez aussi le Chap. II du présent volume.

(**) Darby's Louisiana, p. 103.

Digitized by Google

croire que de pareilles alternances se rencontrent souvent dans les espaces situés entre deux deltas convergents; car, avant que les deux rivières se réunissent, il doit presque toujours y avoir une période pendant laquelle une étendue intermédiaire a été successivement occupée et abandonnée par les eaux de chaque courant, puisqu'il arrive rarement que la saison des crues soit la même pour les deux. Quant à la Rivière Rouge et au Mississipi, qui entraînent les eaux de contrées situées sous des latitudes très différentes les unes des autres, une pareille coïncidence est peu probable.

DERNIÈRES REMARQUES ET CONCLUSIONS SUR LES DELTAS.

Quantité de sédiment contenu dans l'eau des rivières. — Il n'a été fait jusqu'à présent qu'un trop petit nombre d'expériences satisfaisantes pour qu'on puisse déterminer avec un certain degré d'exactitude la quantité moyenne de matière terreuse que transportent annuellement à la mer quelques unes des principales rivières de la terre. Hartsocker a calculé que le Rhin, lorsqu'il est à son maximum de débordement, tient en suspension une partie

sur cent, en volume, de limon (*); mais d'après deux séries d'expériences faites récemment à Bonn, par M. Léonard Horner, il paraît que la quantité représentée par $\frac{1}{16000}$ approcherait davantage de la vérité (**). M. Barrow, dans son journal cité par sir George Staunton, conclut de plusieurs observations que la proportion de la matière terreuse contenue dans l'eau de la Rivière Jaune, en Chine, est d'une partie sur deux cents, et il calcule qu'elle entraîne, dans l'espace d'une heure, deux millions de pieds cubes (56 631 mètres cubes) de terre, ou quarante-huit millions (1 359 135 mètres cubes) par jour. Il suit de là qu'en évaluant à cent vingt pieds (37^{m} environ) la profondeur de la Mer Jaune, il faudrait soixante-dix jours pour que la rivière convertît un mille carré anglais (0,13 de lieue carrée) de cette mer en terre ferme, et 24,000 ans pour que, supposant son étendue de cent vingt-cinq mille milles carrés (16392 lieues carrées), elle la transformât entièrement en continent (***). Manfredi, le célèbre hydrographe italien, croyait que la proportion moyenne de sédiment que contient la totalité de

(*) Comment. Bonon. (Commentaires de Bologne), vol. II, part. 1, p. 237.

(**) Edin. New Phil. Journ., Janvier, 1835.

(***) Staunton's Embassy to China (Ambassade à la Chine, de Staunton), Londres, 1797, in-4°, vol. II, p. 410.

Digitized by Google

l'eau qui coule à la surface du globe, et qui atteint la mer, était de $\frac{1}{173}$, et il admet un laps de temps de mille années comme nécessaire pour que le sédiment entraîné élève le niveau général de la mer d'un pied (30c) environ. D'autres auteurs, de Maillet, par exemple, ont soutenu, au contraire, que les eaux, même les plus troubles, renfermaient beaucoup moins de sédiment. Une des déterminations les plus extraordinaires est celle que le major Rennell donne dans son excellent Mémoire déjà cité à l'occasion du delta du Gange. « Un verre d'eau, » dit-il, « pris dans ce fleuve, quand il est à sa plus grande hauteur, dépose une partie environ de limon sur quatre. On ne sera donc pas surpris, » ajoute-t-il, « que le dépôt provenant de telles eaux forme promptement une couche de terre, ou que le delta empiète sur la mer (*) ! »

Il doit sans doute y avoir eu quelque erreur, une faute d'impression peut-être, dans la détermination ainsi rapportée par les Transactions Philosophiques; et l'on peut supposer que le savant hydrographe a voulu dire, non une partie de limon sur quatre parties d'eau, mais sur quatre cents. Dans les premières éditions du présent ouvrage, j'ai exprimé le regret que

(*) Phil. Trans., 1781.

Digitized by Google

les déterminations et les théories qui ont été proposées sur cet intéressant sujet, offrissent autant de contradiction, et je me suis efforcé de montrer de quelle importance, sous le rapport géologique, il serait de soumettre à un calcul mathématique la somme totale de la matière solide que transportent à la mer certaines grandes rivières. Le Rév. M. Everest a suppléé, jusqu'à un certain point, à l'insuffisance de nos données à cet égard, en instituant une série d'observations « sur la matière terreuse transportée par le Gange, » à Ghâzypour, au Bengale(*).

La première chose à faire dans de pareils calculs est de déterminer le volume moyen de l'eau qui passe annuellement dans le canal d'une rivière. Cet élément pourrait s'obtenir aisément si la largeur, la profondeur et la vitesse d'un courant étaient constantes et uniformes pendant toute l'année ; mais ces différentes conditions étant de nature à varier suivant les saisons, le problème devient extrêmement complexe. Le Gange, ainsi que plusieurs autres rivières des climats chauds, sont sujets à des inondations périodiques, et c'est alors qu'elles roulent vers la mer les plus grandes masses d'eau. C'est donc la largeur, la profondeur et la vitesse moyenne

(*) Journ. of Asiatic Soc., N° 6, p. 238, Juin, 1832. Voyez aussi M. Prinsep, Gleanings in Science, vol. III, p. 185.

Digitized by Google

du courant pendant cette période qu'il importe de déterminer.

M. Everest a trouvé qu'en 1831, le nombre de pieds cubes d'eau déchargée par le Gange, était, par seconde, de quatre cent quatre-vingt-quatorze mille deux cent huit (139 94 mètres cubes) pendant la saison des pluies (quatre mois); de soixante et onze mille deux cents (2016 mètres cubes) pendant l'hiver (cinq mois); et enfin de trente-six mille trois cent trente (1069 mètres cubes) pendant la saison des chaleurs (trois mois), ce qui donne en nombre rond cinq cent mille pieds cubes (141 58 mètres cubes) par seconde pendant la saison du débordement qui dure quatre mois, de juin à septembre, et un peu moins de soixante mille (1700 mètres cubes) par seconde, pendant les huit autres mois.

Connaissant le volume de l'eau, il faut chercher ensuite quelle est la proportion de matière solide qui s'y trouve contenue. Pour cela, on prend dans la rivière, à différents jours, tantôt dans le milieu du courant, tantôt près des bords, une quantité d'eau déterminée, un litre, par exemple. On fait évaporer cette eau, puis on pèse le résidu qu'elle a déposé, et l'on connaît ainsi la quantité moyenne du sédiment pour toute la saison pluvieuse. Les mêmes observations sont ensuite répétées pendant les autres parties de l'année.

Digitized by Google

Dans son calcul, M. Everest n'a pas tenu compte de la diminution de vitesse du courant près du fond, supposant qu'elle est compensée par l'augmentation de poids des matières qui s'y trouvent en suspension. Du reste, il est très probable qu'en négligeant cette considération, loin d'exagérer l'évaluation de la totalité du sédiment, il l'a, au contraire, rendue trop faible; car ce n'est que vers le fond qu'a lieu le transport du sable, qui, en raison de son poids, ne peut jamais s'élever dans les parties hautes du courant.

On a trouvé que la quantité moyenne de matière solide tenue en suspension dans l'eau du Gange, pendant la saison des pluies, était de $\frac{1}{428}$ en poids; mais comme la pesanteur spécifique de l'eau n'est à peu près que moitié de celle du limon desséché, il en résulte que la matière solide déposée est de $\frac{1}{856}$ en volume ou de cinq cent soixante-dix-sept pieds cubes ($16^{m.\ cub.}$,34) par seconde, ce qui donne un total de six milliards quatre-vingt-deux millions quarante et un mille six cents pieds cubes (172 214 906 mètres cubes) pour la décharge totale des cent vingt-deux jours de pluie. La proportion de sédiment trouvée dans les eaux pendant les autres saisons est insignifiante, comparativement à celle qu'elles contiennent au moment du débordement, la somme entière pour les cinq mois d'hiver ne s'élevant pas à plus de deux cent quarante-

Digitized by Google

sept millions huit cent quatre-vingt-un mille six cents pieds cubes (7 018 845 mètres cubes), et de trente-huit millions cent cinquante-quatre mille deux cent quarante (1 080 349 mètres cubes) pour les trois mois de chaleur. Suivant ce calcul, la totalité de la décharge annuelle serait de six milliards trois cent soixante-huit millions soixante-dix-sept mille quatre cent quarante pieds cubes (180 314 100 mètres cubes).

Pour donner une idée de l'importance de pareils résultats, nous supposerons que la pesanteur spécifique du limon sec n'est que moitié de celle du granit, bien qu'en réalité elle soit plus considérable. Dans ce cas, la quantité de matière terreuse déchargée chaque année devrait être égale à trois milliards cent quatre-vingt-quatre millions trente-huit mille sept cent vingt pieds cubes (90 157 050 mètres cubes) de granit. On a calculé que douze pieds et demi cubes ($0^{m.\,cub.}$,3539) environ de granit pesant un tonneau, le poids de la grande pyramide d'Égypte, si on la considère comme formant une masse solide de granit, serait de 6,000,000 de tonneaux à peu près. La masse totale de la matière entraînée par le Gange annuellement, dépasserait donc, en poids et en volume, quarante-deux des grandes pyramides d'Égypte; et celle qui serait déposée pendant les quatre mois de pluie égalerait à elle seule quarante pyramides. Mais si, ne tenant pas compte de ce qu'a pu

être la pesanteur spécifique du limon, nous ne considérons que le poids de la matière solide dont M. Everest a constaté la présence dans l'eau, nous trouvons que le nombre de tonneaux de cette matière déposée pendant la saison du débordement est de 339,413,760, — poids égal à celui de cinquante-six pyramides et demie ; et que la somme entière de celle que le fleuve transporte pendant une année fait équilibre à 355,361,464 tonneaux, ou à soixante pyramides à peu près.

La base de la grande pyramide d'Égypte couvre une surface de onze acres (près de 4 hectares $\frac{1}{2}$), et sa hauteur perpendiculaire est de cinq cents pieds (152^{m}) environ. Lorsqu'on voit le Gange couler si tranquillement, et même en quelque sorte si insensiblement, au milieu de sa plaine d'alluvion, l'esprit a peine à concevoir la grandeur de l'échelle sur laquelle se produit cette action. Cependant on peut établir que si une flotte de plus de quatre-vingts vaisseaux de la Compagnie des Indes, chargés chacun de quatorze cents tonneaux pesant de limon, descendait la rivière à chaque heure du jour et de la nuit pendant quatre mois consécutivement, ils ne transporteraient de la partie supérieure du pays à la mer qu'une masse de matière solide égale à celle que le Gange charrie pendant les quatre mois d'inondation ; et il faudrait qu'une flotte d'environ

Digitized by Google

deux mille de ces vaisseaux descendît chaque jour la rivière avec une charge semblable qu'ils déposeraient dans le golfe, pour balancer la puissance de transport du grand fleuve. A cette prodigieuse quantité de matière entraînée dans la mer par le Gange, vient encore s'ajouter celle non moins considérable, probablement, que, suivant toute apparence, le Barrampooter y décharge annuellement.

Le courant de lave le plus volumineux que l'Etna ait émis depuis les temps historiques est celui de 1669. Ferrara, après avoir rectifié l'estimation de Borelli, évalua à 140,000,000 le nombre de mètres cubes de lave fournie par ce courant. Or, cette quantité n'égalerait pas, en volume, la cinquième partie de la matière sédimentaire entraînée en une seule année par le Gange, suivant l'estimation que nous venons d'indiquer ; de sorte qu'il faudrait cinq grandes éruptions de l'Etna pour transporter des régions souterraines, à la surface du sol, une masse de lave égale en volume, au limon entraîné en un an à la mer par une seule rivière du Bengale

Arrangement des couches dans les deltas. — Les changements qui se sont produits dans les deltas, depuis les temps historiques, donnent lieu à plusieurs considérations importantes sur la manière

Digitized by Google

dont le sédiment qui se dépose sous l'eau est distribué. Malgré les fréquentes exceptions que peut occasionner un grand nombre de causes diverses, il existe quelques lois générales d'arrangement qui doivent évidemment s'appliquer aux lacs et aux mers actuellement en voie de se combler. Si un lac, par exemple, est entouré de deux côtés par de hautes montagnes qui envoient dans son bassin des rivières et des torrents plus ou moins considérables, et si, des autres côtés par où s'échappe le trop-plein du lac, il est borné par une région basse, comparativement, il ne sera pas difficile de déterminer quelques uns des principaux traits géologiques qui devront caractériser la formation lacustre, quand ce bassin aura été graduellement transformé en terre sèche par l'accumulation du sédiment. Les couches seront divisées en deux groupes principaux : l'*ancien* groupe, comprenant les dépôts formés du côté voisin des montagnes, où de nombreux deltas ont commencé d'abord à se produire ; et le *nouveau*, consistant en lits déposés dans les parties les plus centrales du bassin, et du côté le plus éloigné des montagnes. Les caractères suivants formeraient les principaux traits distinctifs entre les couches de chaque série. La plus grande partie du système ancien serait composée de substances grossières, telles que des cailloux et du sable, disposés en lits d'une

Digitized by Google

épaisseur souvent considérable, et, parfois, fortement inclinés. Ces lits, associés à des couches formées d'éléments moins grossiers, présenteraient, autour du bassin, une grande variété de couleur et de composition minéralogique, et beaucoup d'irrégularité dans leur épaisseur. Les lits du nouveau groupe, au contraire, consisteraient en particules fines, et seraient horizontaux, ou très légèrement inclinés. De plus, leur composition minéralogique serait homogène, et leur couleur offrirait une uniformité remarquable sur de vastes étendues, ce qui contribuerait encore à les distinguer des dépôts anciens.

Les causes que nous allons décrire produiraient la différence qui vient d'être indiquée entre les deux grands membres de ces formations lacustres. Quand les rivières et les torrents commencent à atteindre le bord du lac, le détritus qu'ils ont détaché des hauteurs environnantes tombe au fond de l'eau — le sable et les cailloux se déposant près du rivage, tandis que le limon fin est entraîné un peu plus loin. Cette distance, toutefois, ne s'élève pas à plusieurs milles; car on peut, comme à l'endroit où le Rhône entre dans le lac de Genève, voir la plus grande partie du limon se précipiter vers le fond en formant des nuages, non loin de l'embouchure du fleuve. C'est ainsi que se trouvent formés en peu de temps, aux embouchures de chaque ri-

vière et de chaque torrent, des terrains d'alluvion dont plusieurs acquièrent, dans le cours des siècles, une étendue considérable. Les fragments de roches sont ensuite entraînés à une plus grande distance des montagnes; mais, dans leur transport, ils diminuent de grosseur, par suite du frottement, et sont en partie transformés en sable et en limon. A la fin, quelques uns des nombreux deltas qui sont tous dirigés vers un centre commun se rapprochent les uns des autres; — ceux des torrents voisins se réunissent, puis, chacun à son tour, se confond avec le delta de la rivière principale, qui s'avance dans le lac avec rapidité, et rend successivement tous les petits courants tributaires du sien. Les diverses substances minérales que renferment ces courants sont ainsi mêlées, et forment un sédiment homogène qui se trouve déchargé dans le lac, par un canal commun.

Comme la grosseur moyenne des particules transportées diminue à mesure que la force et le volume de la rivière principale augmentent, il en résulte que les nouveaux dépôts sont continuellement répandus sur une étendue plus considérable que les anciens, et que, par suite, ils sont plus horizontaux. Quand il y a eu, à l'origine, près des bords d'un bassin plusieurs deltas distincts, leurs dépôts respectifs ont dû différer complétement les uns des autres:

Digitized by Google

ainsi, par exemple, un des courants producteurs de ces deltas a pu, comme l'Arve à sa jonction avec le Rhône, être chargé de sable blanc et de sédiment granitique; — un autre, être noir, comme plusieurs courants du Tyrol, qui sortent de roches noires schisteuses en décomposition; — un troisième, comme la Rivière Rouge, à la Louisiane, être coloré par un sédiment ocreux, — tandis qu'un quatrième, enfin, a pu tenir, comme l'Elsa, en Toscane, une grande quantité de carbonate de chaux en solution. Ces divers courants ont donné primitivement naissance à des dépôts distincts de sable, de gravier, de calcaire, de marne, ou de toute autre matière; mais, après leur réunion, de nouvelles combinaisons chimiques ont changé la couleur du sédiment, en même temps que les particules envoyées à dix milles (3' $\frac{1}{3}$), à vingt milles (6' $\frac{2}{3}$), ou même encore plus loin, sur des plaines d'alluvion, ont acquis plus de finesse.

Pour les deltas dont les causes sont plus complexes, et où les marées et les courants exercent quelque action, ce que nous venons de dire ne serait applicable qu'avec certaines modifications; mais si une suite de tremblements de terre accompagne le développement d'un delta, et change de temps en temps les niveaux du sol, comme cela a lieu dans la région où l'Indus se jette aujourd'hui dans la

Digitized by Google

mer, ainsi que sur plusieurs autres points dont nous parlerons tout-à-l'heure, les phénomènes s'écarteront bien davantage encore du type ordinaire.

Convergence des deltas. — Si nous possédions une série exacte de cartes de l'Adriatique remontant à plusieurs milliers d'années, l'examen de ces cartes nous ramènerait sans doute graduellement au temps où le nombre de rivières descendant des montagnes dans ce golfe par des deltas isolés, était beaucoup plus grand qu'il ne l'est à présent Nous verrions, par exemple, que les deltas du Pô et de l'Adige se sont séparés pendant la période *récente*, de même probablement que ceux de l'Isonzo et du Torre. Si, d'un autre côté, nous venions à former des conjectures sur certains changements à venir, nous pourrions prévoir le moment où le nombre des deltas diminuera considérablement; car le Pô ne peut pas plus continuer à empiéter d'un mille par siècle sur ce golfe peu profond, que d'autres rivières ne peuvent s'y avancer de cette même quantité dans l'espace de six ou sept siècles, sans que de nouvelles jonctions aient lieu de temps en temps, et sans que, par suite, l'Eridan, « ce roi des fleuves, » acquière sans cesse un plus grand nombre de tributaires. Tout porte à croire que la réunion du Gange et du Barrampooter s'est produite depuis les temps historiques, et que la date

Digitized by Google

de la jonction de la Rivière Rouge et du Mississipi serait connue si la découverte de l'Amérique n'était pas aussi récente. La réunion du Tigre et de l'Euphrate constitue vraisemblablement un des changements géographiques les plus modernes qu'ait subis notre globe, et il est très probable que plusieurs autres régions offrent des exemples semblables.

Quand les deltas des rivières qui ont plusieurs embouchures viennent à converger, une réunion partielle s'opère d'abord à l'aide du confluent d'un ou de plusieurs de leurs bras; mais ce n'est que lorsque les branches principales sont réunies au-dessus de la pointe du delta commun qu'il y a mélange complet entre leurs eaux et leurs sédiments. La jonction du Pô et de l'Adige, ainsi que celle du Gange et du Barrampooter, est donc encore incomplète. Si l'on réfléchit à l'étendue géographique de la surface arrosée par des rivières telles que celles qui se jettent aujourd'hui dans le Golfe du Bengale, et que l'on considère non seulement à quel point le mélange des matières transportées par ces rivières est déjà devenu complet, mais aussi combien est vaste le delta sur lequel elles se trouvent répandues par des bras nombreux, on cesse d'être surpris de la grande étendue de l'espace occupé par d'anciennes formations dont la composition minéralogique est homogène. On sera moins surpris encore si l'on tient compte de

Digitized by Google

l'influence que les marées et les courants exercent sur la dispersion du sédiment (*).

Formation des conglomérats. — Les rivières qui coulent au pied des Alpes Maritimes, entre Toulon et Gênes, forment aujourd'hui, à peu d'exceptions près, des strates de conglomérats et de sable. Leurs canaux ont souvent plusieurs milles de large. Quelques uns de ces cours d'eau sont à sec, et les autres peuvent aisément être passés à gué pendant près de huit mois de l'année, tandis qu'à l'époque de la fonte des neiges, ils grossissent beaucoup, et entraînent une quantité considérable de limon et de cailloux. Pour que la grande route de France en Italie, qui longe actuellement la côte, reste libre, on est obligé d'enlever chaque année les masses de galets qui s'y accumulent pendant la saison des inondations. Dans quelques localités, près de Nice, par exemple, une portion des galets forme des lits le long du rivage, mais la plus grande partie est entraînée au loin dans la mer. Le peu d'accroissement qu'acquièrent sur cette côte les deltas des petites rivières ne doit pas nous surprendre, quand nous nous rappelons qu'à quelques centaines de mètres du rivage, la mer a quelquefois, comme

(*) Voyez chap. IX.

Digitized by Google

aux environs de Nice, une profondeur de deux mille pieds (610^{m}). Des observations semblab'es pourraient être faites à l'égard d'un grand nombre des rivières de la Sicile, de celle entre autres qui, immédiatement au nord du port de Messine, entraîne chaque année d'énormes masses de cailloux granitiques dans la mer.

Causes de la stratification des deltas. — L'arrangement stratifié qui domine si généralement dans les dépôts aqueux est dû souvent à des variations dans le degré de rapidité de l'eau courante qui, lorsqu'elle se meut avec une vitesse donnée, ne peut entraîner que des molécules d'une certaine grosseur et d'un certain poids. Il en résulte que, selon que la force du courant augmente ou diminue, les matériaux déposés dans des couches successives en différents points sont grossièrement assortis, suivant leurs dimensions, leurs formes et leur pesanteur spécifique. Dans les cas où cette cause (le mouvement de l'eau) n'a pas agi, comme dans ceux, par exemple, où le transport du sable, du limon et des fragments de roches s'effectue par l'intermédiaire d'un glacier, l'amas des débris ainsi transportés est confus et privé de toute stratification.

Certaines divisions naturelles observées dans les deltas sont dues aussi à l'intervalle de temps qui sépare annuellement les dépôts formés pendant la

Digitized by Google

période des pluies, ou lors de la fonte des neiges sur les montagnes. Le dépôt de chaque année peut acquérir quelque degré de consistance avant que celui de l'année suivante l'ait entièrement couvert. D'un autre côté, diverses circonstances donnent lieu annuellement, ou même quelquefois d'un jour à l'autre, à de légères variations dans la couleur, dans la finesse des particules, ou dans quelque autre caractère propre à déterminer des alternances de strates différentes entre elles, tant à l'égard de la texture que de la composition minéralogique. Ainsi, à telle époque de l'année, du bois peut être entraîné, et à telle autre, du limon, comme nous avons vu que cela avait lieu dans le delta du Mississipi. D'autres fois, quand le courant atteint son maximum de volume et de vitesse, il peut transporter du sable et des cailloux sur les points où un sédiment fin et des précipités chimiques se déposent pendant que les eaux sont basses. Il arrive souvent aussi, lors des inondations, que le courant trouble d'eau douce repousse les eaux de la mer jusqu'à plusieurs milles de distance; mais quand la rivière est basse, l'eau salée reprend sa place et occupe le même espace qu'auparavant. Par suite de plusieurs causes que nous avons déjà indiquées (voir p. 193), souvent l'espace intermédiaire entre deux deltas convergents reçoit tour à tour des dépôts différents des courants conver-

Digitized by Google

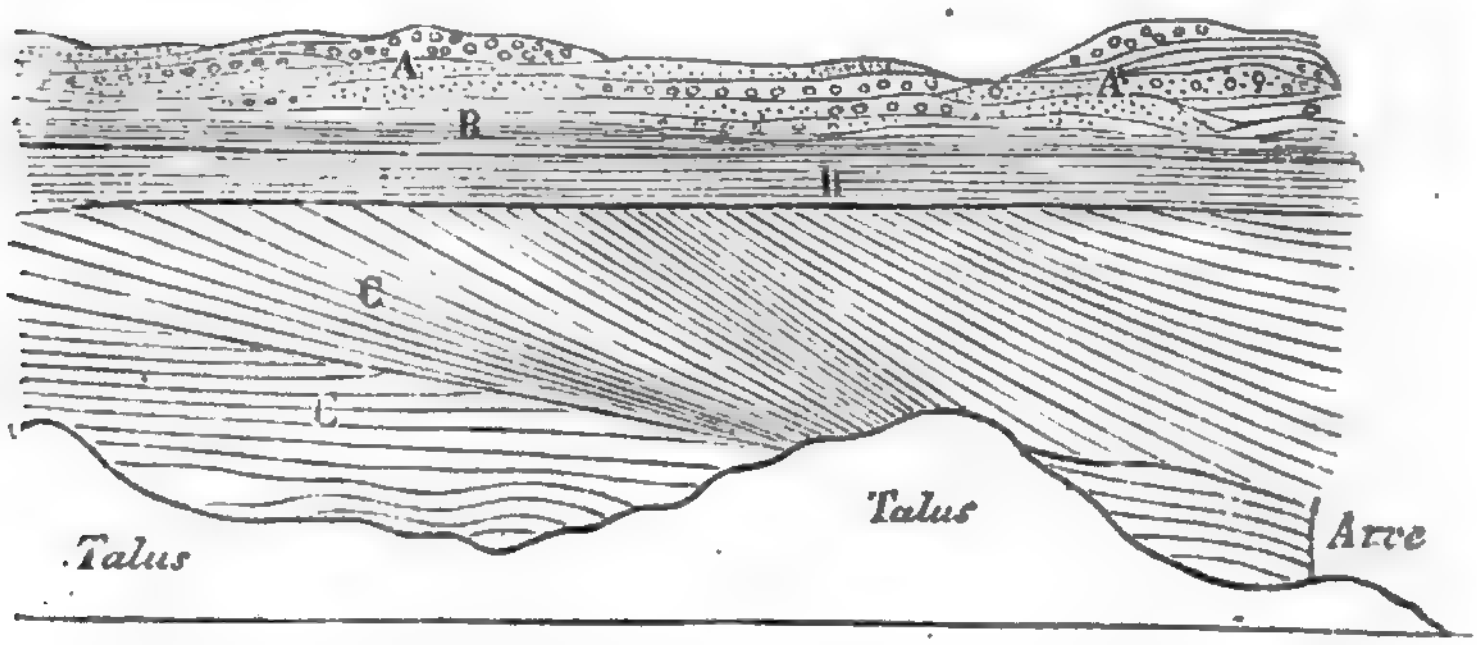
gents, dont l'un peut être chargé de matière calcaire, et l'autre de sédiment argileux ; ou dont l'un peut entraîner du sable et des cailloux, et l'autre un limon impalpable. Ces alternances se répètent quelquefois avec la plus grande régularité, jusqu'à ce qu'il se soit formé une série de couches de plusieurs centaines de pieds d'épaisseur. La propagation des coquilles et des coraux en de certains points, et pendant des espaces de temps illimités, donne lieu aussi quelquefois à des lignes de séparation, et divise en couches distinctes une masse qui sans cela pourrait être homogène.

En examinant la marne coquillière qui aujourd'hui est en voie de se former dans les lacs d'Écosse, ou bien le sédiment désigné sous le nom de « *warp.* » que déposent les eaux troubles de l'Humber et de plusieurs autres rivières, on reconnaît que les dépôts récents sont souvent composés d'un grand nombre de lits extrêmement minces, soit horizontaux, soit légèrement ondulés, qui conservent un parallélisme général par rapport aux plans de stratification. Quelquefois cependant les feuillets sont disposés diagonalement dans les couches nouvelles, et forment avec le plan de stratification un angle considérable, ce qui paraît avoir lieu aux endroits où il se produit des mouvements opposés dans les eaux. En janvier 1829, je visitai avec le professeur L.-A. Necker,

Digitized by Google

de Genève, le confluent du Rhône et de l'Arve, au moment où ces deux rivières étaient très basses et creusaient des canaux à travers les vastes amas de débris abandonnés par l'Arve au printemps précédent. Un des bancs de sable formés à cette époque sur un point où les courants opposés des deux rivières se neutralisaient et occasionnaient du retard dans le mouvement des eaux, avait été miné. Le dessin ci-joint offre la reproduction exacte de l'arrangement des feuillets tels qu'on les observe dans une coupe verticale de ce banc. La longueur de la portion ici représentée est de douze pieds (3m,65) à peu près, et sa hauteur de cinq (1m,52). Les couches A A sont ondulées et consistent en alternances irrégulières

Fig 20.



Coupe d'un banc de sable observé dans le lit de l'Arve à son confluent avec le Rhône, et montrant la stratification des dépôts au point de rencontre des courants

Digitized by Google

de cailloux et de sable. On voit, au-dessous, des veines de sable très fin, B B, dont quelques unes ont un quart de pouce (6mm,25) environ d'épaisseur, tandis que d'autres sont, ainsi que les suivantes C C, aussi minces que des feuilles de papier. Ces dernières se composent d'un sable fin gris-verdâtre. Quelques uns des lits inclinés paraissent plus épais à leur extrémité supérieure ; d'autres, au contraire, à leur extrémité inférieure ; et l'inclinaison de plusieurs d'entre eux est très considérable. L'accumulation de ces couches doit s'être produite par apposition latérale, et très probablement lorsque la vitesse de l'une des rivières augmentait ou diminuait graduellement, de sorte que le point de plus grand retard causé par leurs courants contraires se déplaçait lentement, et permettait au sédiment de se déposer en couches successives sur un bord incliné. Le même phénomène s'observe dans des couches anciennes de toutes les époques (*).

De l'échange continuel qui a lieu entre la terre ferme et la mer. — Je terminerai mes remarques sur les deltas en faisant observer que tout imparfaites que soient nos connaissances à l'égard des changements qu'ils ont subis depuis trois mille ans,

(*) Voyez les Éléments de Géologie, par l'auteur du présent ouvrage.

Digitized by Google

elles suffisent cependant pour montrer à quel point est constant l'échange qui s'opère à la surface du globe entre la terre ferme et la mer. En ne considérant que la Méditerranée, nous trouvons que plusieurs villes intérieures florissantes, et un nombre de ports plus grand encore, existent maintenant sur des points que la mer baignait à l'époque où la civilisation commença à s'introduire en Europe. Si nous pouvions comparer avec autant d'exactitude l'état ancien et l'état actuel de toutes les îles et de tous les continents, nous verrions probablement que des millions d'êtres de notre race vivent aujourd'hui sur des terres situées en des points que des mers profondes occupaient autrefois. En d'autres lieux que l'homme n'habite point encore, mais où abondent des animaux terrestres, et qui sont couverts de forêts, jadis aussi naviguaient des vaisseaux. D'un autre côté, nos recherches nous permettent d'admettre que les invasions de l'Océan n'ont pas été moins considérables que celles de la terre ferme ; enfin, si à toutes ces révolutions produites par des causes aqueuses, nous ajoutons les changements analogues occasionnés par l'action ignée, nous reconnaîtrons la justesse de la conclusion d'Aristote, qui soutenait que toutes les mers et tous les continents du globe changent de place périodiquement (*).

(*) Voyez Première Partie, p. 33.

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

EFFETS DESTRUCTEURS, ET FORCE DE TRANSPORT DES MARÉES ET DES COURANTS.

Différences observées dans l'élévation des marées. — Description du courant des Agullas et du Gulf Stream, par Rennell. — Vitesse des courants. — Causes des courants. — Action de la mer sur les côtes des Iles Britanniques. — Iles Shetland. — Déplacement de gros blocs de roche.— Effets de la foudre.— Iles transformées en groupes de rochers. — Iles Orcades.—Dégradation des côtes orientales de l'Écosse et de l'Angleterre, ainsi que des falaises de l'Holderness, du Norfolkshire et du Suffolkshire.— Envasement des estuaires. — Origine des forêts sous-marines. — Estuaire de Yarmouth. — Côte du Suffolkshire. — Dunwich. — Côte de l'Essexshire. — Estuaire de la Tamise. — Sables de Goodwin. — Côtes du Kentshire. — Formation du Pas-de-Calais.— Côte méridionale de l'Angleterre. — Sussexshire. — Hants. — Dorsetshire. — Portland. — Origine du banc que l'on nomme *Chesil-Bank*. — Cornouailles. — Côte de Bretagne.

Quoique les mouvements des grandes masses d'eau que l'on désigne sous les noms de marées et de courants soient dus en général à des causes très

Digitized by Google

différentes, leurs effets ne peuvent être étudiés séparément, par la raison que leur action combinée donne lieu à des changements qui rentrent dans le domaine de la géologie. Ces forces doivent être considérées de la même manière que l'ont été précédemment les rivières, d'abord, comme contribuant à détruire certaines portions de la croûte solide de la terre, et à les transporter en d'autres places; puis, comme donnant lieu à la production de nouvelles strates.

Marées. — Il serait inutile, quant à présent, de se livrer à aucune considération sur la cause des marées qui ne se font sentir ni dans les lacs ni dans la plupart des mers intérieures; dans la Méditerranée même, quelles que soient la profondeur et l'étendue de cette mer, elles sont à peine sensibles à l'observation ordinaire, leurs effets étant tout-à-fait subordonnés à ceux des vents et des courants. En quelques points, cependant, comme dans le Phare de Messine, il y a un mouvement de flux et de reflux qui s'élève à deux pieds (60^c) et plus; à Naples et dans l'Euripe, ce mouvement n'atteint qu'une hauteur de douze ou treize pouces (32^c); mais à Venise, il s'élève, suivant Rennell, jusqu'à cinq pieds (1^m,52) (*). Dans les Syrtes des anciens, ces deux

(*) Géog. d'Herod., vol. II, p. 331.

Digitized by Google

grands golfes peu profonds qui pénètrent si avant dans la côte septentrionale de l'Afrique, entre Carthage et Cyrène, on prétend aussi que les marées excèdent cinq pieds (1^{m},62) (*).

Le flux et le reflux de l'Océan sont sans effets marqués dans les îles éloignées de tout continent, comme à Sainte-Hélène, par exemple, où rarement ils dépassent trois pieds (90^{c}) (**). Sur toute ligne de côte, c'est dans les baies, les estuaires et les canaux étroits que les marées sont le plus grandes, et c'est dans les espaces intermédiaires, où les continents font saillie, qu'elles sont le plus faibles. Ainsi, à l'entrée de l'estuaire de la Tamise et de la Medway, l'élévation des grandes marées est de dix-huit pieds (5^{m},48); mais quand, à partir de ce point, on suit la côte orientale d'Angleterre, en remontant vers le nord, on trouve une diminution graduelle, jusqu'à Lowestoff et Yarmouth, où le maximum de hauteur n'excède pas sept à huit pieds (2^{m}13 à 2^{m},43). Passé ce point, il recommence à y avoir une augmentation, de sorte qu'à Cromer, où la côte rentre de nouveau vers l'ouest, l'élévation est de seize pieds (4^{m},87); vers l'extrémité du golfe qu'on

(*) Géog. d'Hérodote, vol. II, p. 328.

(**) Romme, Vents et Courants, vol. II, p. 2. Rev. F. Fallows, Quart. Journ. of Science (Journal Trimestriel des Sciences), Mars 1829

Digitized by Google

appelle le « Wash, » à Lynn et dans les bas-fonds connus sous le nom de Boston-Deeps, elle est de vingt-deux à vingt-quatre pieds ($6^m,70$ à $7^m,31$), et même quelquefois de vingt-six ($7^m,92$). Là, une nouvelle diminution a lieu en allant vers le nord, si bien qu'à Spurn-Point, l'élévation n'est plus que de dix-neuf à vingt pieds ($5^m,79$ à 6^m09), et à Flamborough-Head, ainsi que sur la côte du Yorkshire, de quatorze à seize pieds ($4^m,26$ à 4^m87) (*).

A Milfort Haven, dans le Pembrokeshire, et à l'embouchure du Canal de Bristol, les marées atteignent une hauteur de trente-six pieds (près de 11^m). A King-Road, près de Bristol, elles s'élèvent jusqu'à quarante-deux pieds ($12^m,80$), et à Chepstow, sur la Wye, petite rivière qui se jette dans l'estuaire de la Saverne, elles montent jusqu'à cinquante ($15^m,24$), soixante-neuf ($21^m,03$), et même soixante-douze pieds ($21^m,94$) (**). Un courant longe la côte de France, à l'ouest du cap de La Hague; puis, il se rapproche de Guernesey, de Jersey, et de plusieurs autres îles. Dans cette région, l'élévation de la marée varie entre vingt et quarante-cinq pieds ($6^m,09$ à $13^m,71$); elle atteint cette dernière hauteur à Jersey et au port de Saint-Malo.

(*) Les hauteurs de ces marées sont indiquées d'après le Capitaine Hewett, de la marine royale.

(**) Ces renseignements ont été fournis par le Capitaine Beaufort, de la marine royale.

Il y a cependant quelques côtes où les marées semblent faire exception à la règle que nous venons d'indiquer; car, à peine sensibles dans l'estuaire de la Plata, elles s'élèvent à une hauteur considérable, plus au sud, sur la côte ouverte de la Patagonie. Toutefois, dans cette région même, les marées atteignent leur maximum d'élévation (cinquante pieds — 15^{m},24 environ) dans le détroit de Magellan, et jusqu'à cette limite, au moins, elles suivent la règle générale.

Courants. — Le système de courants le plus étendu et le mieux déterminé, est celui qui prend naissance dans l'Océan Indien, sous l'influence des vents alizés, et qui, après avoir doublé le cap de Bonne-Espérance, s'incline vers le nord, le long de la côte occidentale de l'Afrique, puis, traverse l'Atlantique, près de l'équateur, et se perd dans la mer des Caraïbes; mais il semble renaître dans le courant qui s'échappe du Golfe du Mexique, par le détroit de Bahama, et coule rapidement dans une direction N. E., vers les Açores, en passant près du banc de Terre-Neuve.

L'ouvrage posthume de Rennell nous apprend que le courant des Agullas, ainsi appelé du cap et du banc de ce nom, doit son origine à deux courants venant de l'Océan Indien; l'un, qui débouche du

Digitized by Google

canal de Mozambique, et longe la côte S.-E. de l'Afrique; l'autre, qui vient du large. Ces deux courants réunis ont une largeur de quatre-vingt-dix à cent milles (32 à 36'), et leur vitesse est de deux milles et demi (les $\frac{5}{6}$ d'une lieue) à plus de quatre milles (1' $\frac{1}{2}$ env.) par heure. Ils finissent par être déviés vers l'ouest par le banc des Agullas qui s'élève d'une mer très profonde, jusqu'à une centaine de brasses au-dessous de la surface des eaux. On doit en conclure, dit Rennell, qu'en ce point le courant a plus de cent brasses de profondeur; car autrement, la branche principale traverserait le banc, au lieu d'être infléchie vers l'est, de manière à couler autour du cap de Bonne-Espérance. Depuis ce cap, il se dirige vers le nord, en longeant la côte occidentale d'Afrique, et en prenant le nom de courant de l'Atlantique Austral. Il entre ensuite dans la Crique ou Baie de Bénin, puis, est détourné vers l'ouest, en partie par la forme de la côte qu'il rencontre en cet endroit, et en partie, peut-être, par le courant de Guinée qui se précipite dans la même grande baie, en venant du nord. Du centre de cette baie part le courant Équatorial qui suit une direction occidentale en traversant l'Atlantique, à partir de la côte de Guinée jusqu'à celle du Brésil; il longe ensuite les rivages de la Guiane, et atteint les Antilles. La largeur de ce courant varie entre cent soixante et

Digitized by Google

quatre cent cinquante milles géographiques ; sa vitesse est de vingt-cinq (9') à soixante-dix-neuf milles (29') par jour, en moyenne trente milles (11'); et la longueur totale de sa course est de quatre mille milles (1450') à peu près. Pendant qu'il longe la côte de la Guiane, son volume et sa vitesse se trouvent augmentés par les eaux de l'Amazone et de l'Orénoque qui viennent se joindre aux siennes. Après avoir passé l'île de la Trinidad, il s'étend, et finit presque par se perdre dans la Mer des Caraïbes, qui paraît avoir un mouvement général vers le Golfe du Mexique. De ce golfe s'échappe le plus puissant de tous les courants, par le Détroit de la Floride, à la partie septentrionale duquel les eaux courent avec une vitesse de cinq milles (1',8) par heure. Leur largeur est de trente-cinq à quarante milles (13 à 15 lieues environ).

La température du Golfe du Mexique est de 86° Fahr. (30° cent.) en été, ou de 6° (3° 33 cent.) plus élevée que celle de l'Océan, sous le même parallèle (25° lat. N.). Les eaux conservent une grande partie de cette chaleur jusqu'au 43° degré de lat. N. En sortant du Détroit de la Floride, il s'élance dans une direction septentrionale vers le cap Hatteras, dans la Caroline du Nord, par 35° environ de latitude, où il a plus de soixante-dix milles (25') de large, et se meut avec une vitesse

Digitized by Google

de soixante-quinze milles (27') par jour. A peu près sous le 40e parallèle N., les grands bancs de Nantucket et de Saint-George, situés à deux ou trois cents pieds (61 ou 91m) au-dessous de la surface de la mer, augmentent sa déviation vers l'Atlantique, ce qui prouve évidemment qu'il coule à une profondeur plus considérable encore. En arrivant près des Açores, il s'élargit, et déborde, en quelque sorte, formant au milieu de l'Atlantique Boréal une masse d'eau chaude qui s'étend sur un espace de deux ou trois cents milles (72 ou 108'), du nord au sud, et dont la température excède de 8 à 10° Fahr. (4,44 à 5,56 centigr.), celle de la mer environnante. Rennell a estimé que toute l'étendue couverte par l'eau du golfe est de deux mille milles (725') en longueur, et, terme moyen, de trois cent cinquante milles (127') en largeur — espace plus considérable que celui qu'occupe la Méditerranée. On a remarqué que l'eau chaude atteint quelquefois la Baie de Biscaye, conservant encore une température de 5° Farh. (2°,78c) supérieure à celle de l'océan environnant; parfois aussi, une des branches du Gulf Stream transporte aux rivages de l'Irlande et des Hébrides divers produits de l'Amérique et des Antilles, tels entre autres, que des fruits, des plantes et du bois.

D'après ce qui précède, on comprendra pourquoi

Digitized by Google

Rennell a considéré quelques uns des principaux courants comme des rivières océaniques. Il leur donne une largeur de cinquante à deux cent cinquante milles (18 à 54'), et suppose que leur vitesse surpasse celle des plus grandes rivières navigables des continents. Il admet, en outre, qu'ils sont situés à une profondeur telle qu'ils se trouvent quelquefois arrêtés dans leur marche et déviés de leur cours par des bancs dont les sommets restent à quarante, cinquante, ou même cent brasses au-dessous de la surface de la mer (*).

De la plus grande vitesse des Courants. — La vitesse ordinaire des principaux courants de l'Océan est d'un à trois milles ($\frac{1}{3}$ de lieue à 1 lieue) par heure; mais quand les terres qui servent de limites viennent à converger, il arrive que de grandes masses d'eau se trouvent repoussées peu à peu dans un espace étroit, où, manquant de place pour s'étendre latéralement, elles sont forcées d'élever leur niveau, ce qui accélère beaucoup leur vitesse. Le courant qui s'échappe par le Ras d'Aurigny, entre l'île de ce nom et le continent, a une vitesse de plus de huit milles anglais (près de 3') par heure. Le capitaine Hewett a trouvé que dans le Pentland-Firth le

(*) Rennell, sur les Courants, p 58.

Digitized by Google

courant se mouvait avec une vitesse de dix milles et demi (3' $\frac{1}{2}$) par heure, dans les grandes marées ordinaires, et de treize milles (4' $\frac{1}{3}$) pendant de violents orages. La plus grande rapidité du courant de la marée dans les « Shoots, » ou Nouveau Passage, dans le canal de Bristol, est de quatorze milles anglais (5') par heure; ce qui, d'après les observations faites par le Capitaine King, lors de sa récente exploration du Détroit de Magellan, est aussi la vitesse de la marée dans le « First Narrows. » Suivant le même observateur, elle n'est que d'environ huit milles géographiques par heure, dans d'autres parties de ces détroits.

Causes des courants. — On conçoit aisément que des mouvements considérables puissent être communiqués à un vaste océan, par des vents soufflant pendant plusieurs mois dans la même direction, lorsqu'on observe les effets produits dans nos mers par l'action momentanée de la même cause. On sait qu'un fort vent S. O. ou N. O. fait invariablement monter les marées à une hauteur inaccoutumée sur la côte orientale d'Angleterre et dans la Manche, et qu'un vent N. O., de quelque durée, élève les eaux de la Baltique de deux pieds (60^{c}) et plus, au-dessus de leur niveau ordinaire. Smeaton a constaté par expérience que, dans un

Digitized by Google

canal de quatre milles ($1^{l}\frac{1}{3}$) de long, l'eau s'est maintenue à une hauteur de quatre pouces (10^{c}) de plus à l'une de ses extrémités qu'à l'autre, par la seule action du vent; et Rennell rapporte que par un vent fort, les eaux d'un grand bassin de dix milles ($3^{l}\frac{1}{3}$ env.) de large, et de trois pieds (90^{c}) de profondeur, s'étaient toutes portées d'un même côté, de telle sorte qu'en ce point elles avaient six pieds (près de 2^{m}) de profondeur, tandis que du côté opposé, c'est-à-dire, celui d'où venait le vent, le bassin était à sec (*).

Ainsi, observe-t-il, de même que l'eau, quand elle est poussée dans une direction sans issue, acquiert un niveau plus élevé, de même, dans un lieu *où elle peut s'échapper*, la même action donne naissance à un courant, qui s'étend plus ou moins loin, suivant la force qui la produit.

Les courants qui coulent alternativement dans des directions opposées sont dus aussi à l'élévation et à l'abaissement des marées. Comme cela a été précédemment observé, c'est dans les estuaires et dans les canaux situés entre des îles que l'effet résultant de cette cause est le plus sensible.

Une troisième cause productrice des courants

(*) Rennell, sur le Courant du canal de la Manche.

Digitized by Google

océaniques consiste dans l'évaporation occasionnée par la chaleur solaire ;—le grand courant qui se rend dans la Méditerranée, par le Détroit de Gibraltar, en offre un exemple remarquable que nous examinerons avec détail dans le chapitre suivant. Un courant d'eau froide coule aussi de la Mer Noire dans la Méditerranée. Il doit arriver dans beaucoup d'autres parties du monde que de grandes quantités d'eau pompées d'une certaine région de l'Océan par la chaleur solaire, soient transportées dans des régions où la vapeur se condense et tombe sous forme de pluie; cette eau pluviale revient ensuite sur ses pas pour rétablir la ligne de niveau, et donne naissance à des courants sensibles.

Ces considérations amènent naturellement à rechercher si le niveau des mers d'où s'échappent les courants est plus haut que celui des mers dans lesquelles ils coulent. M. Arago pense qu'autant qu'on en puisse juger par les observations faites jusqu'à ce jour, il n'existe aucune preuve certaine de telles différences de niveau. En même temps il admet ce fait aussi important que remarquable, savoir, que le niveau de la Méditerranée, près d'Alexandrie, est inférieur de $8^m,1$ aux basses mers de la mer Rouge, près de Suez, et de $9^m,9$ aux hautes mers. Ce résultat a été constaté pendant l'expédition fran-

çaise en Egypte, d'après les mesures de M. Lepère (*).

On supposait autrefois qu'il y avait une différence égale, sinon plus grande, entre les niveaux relatifs de l'Atlantique et de la Mer Pacifique, des deux côtés de l'isthme de Panama; mais les mesures faites en 1828 dans cet isthme, par M. Lloyd, pour déterminer la hauteur relative de l'Océan Pacifique, à Panama, et de l'Atlantique à l'embouchure du Chagres, ont montré que la différence du niveau moyen de ces deux océans n'est pas très considérable, et que, contrairement à ce que l'on croyait, celle qui existe est en faveur de l'Océan Pacifique. D'après le résultat de cette reconnaissance, dans lequel on peut avoir toute confiance, la hauteur moyenne de la Mer Pacifique excède de 3,50 ou 3,52 pieds anglais ($1^m,1$), celle de l'Atlantique, si l'on suppose que le niveau moyen d'une mer coïncide avec la moyenne prise entre les points extrêmes d'élévation et d'abaissement des marées; car, dans la Mer Pacifique, à Panama, la différence entre les niveaux extrêmes des plus grandes marées est de 27,44 pieds ($8^m,36$), et de 21,22 ($6^m,46$) aux grandes marées ordinaires; tandis qu'à Chagres elle n'est que de 1,16 ($0^m,35$), et reste la même à toutes les époques de l'année.

(*) Ann. du Bureau des Long. pour l'année 1836, p. 316.

Digitized by Google

Enfin, dans la Mer des Caraïbes, les marées sont à peine sensibles, car elles n'égalent même pas celles qui ont lieu dans quelques parties de la Méditerranée, tandis que dans le Golfe de Panama elles s'élèvent à une hauteur considérable, d'où il suit qu'au moment de la marée montante, le niveau de l'Océan Pacifique est de plusieurs pieds plus élevé que celui du Golfe du Mexique, et qu'à la basse mer il s'abaisse d'une égale quantité (*). Mais les astronomes s'accordent à penser que, d'après le calcul, l'élévation du flot de la marée au-dessus du niveau moyen d'une mer donnée doit être plus grande que son abaissement au-dessous de ce même niveau ; et quoique jusqu'ici cette différence ait été jugée insuffisante pour donner lieu à une erreur appréciable, il est à remarquer que l'erreur, quelle qu'elle puisse être, tendrait à réduire la petite différence que, d'après les observations de M. Lloyd, on admet aujourd'hui entre les niveaux des deux océans.

Il est encore une circonstance où la chaleur et le froid doivent occasionner de grands mouvements dans l'Océan, et c'est peut-être la principale cause à laquelle il faut attribuer les courants. Il est bien constaté aujourd'hui qu'il n'existe pas dans l'eau de mer un point où, comme dans l'eau douce, une

(*) Phil. Trans., 1830, p. 59.

augmentation de froid détermine la dilatation du liquide : chaque fois donc que dans l'Océan, la température de la surface s'abaisse, il y a condensation ; l'eau superficielle dont la pesanteur spécifique se trouve ainsi augmentée tombe au fond, et l'eau plus légère s'élève immédiatement pour la remplacer. Lorsque cette circulation de courants ascendants et descendants a continué pendant un certain temps sous de hautes latitudes, les parties inférieures de la mer s'y trouvent plus froides et plus pesantes qu'elles ne le sont à égale profondeur, entre les tropiques. Si aucune chaîne de montagnes sous-marines ne sépare les bassins polaires des bassins équatoriaux, et qu'une libre communication règne dans leurs eaux, il s'établira un mouvement horizontal occasionné par un courant d'eau froide allant des pôles à l'équateur, et par un contre-courant d'eau chaude superficielle se dirigeant de l'équateur aux pôles. Une expérience bien connue montre comment ce mode d'action peut servir à expliquer la cause des vents alizés (*). Si une auge allongée, partagée dans le milieu par un diaphragme

(*) Voyez l'explication de la Théorie des Vents Alizés, qui a été exposée avec tant de clarté, par le cap. B. Hall, dans ses Fragments de Voyages, 2e série, vol. I. Voyez aussi la lettre du même auteur insérée dans l'Appendice à la Météorologie de Daniell.

ou séparation, a l'un de ses compartiments rempli d'eau, et l'autre de mercure, les deux liquides resteront en repos tant qu'ils seront isolés; mais lorsqu'on retirera la séparation, le liquide le plus lourd se précipitera au fond de l'auge, tandis que le plus léger, déplacé par le premier, s'élèvera, et, coulant en sens contraire, s'étendra à la partie supérieure. C'est de cette manière que la dilatation et la contraction de l'eau de mer occasionnées par la chaleur et le froid tendent à établir des sous-courants des pôles à l'équateur, et à déterminer à la surface des contre-courants se dirigeant dans un sens opposé à celui des vents alizés dominants. Les circonstances géographiques ou autres, relatives à ces phénomènes, étant très compliquées, on ne peut guère espérer de découvrir séparément les mouvements dus à chaque cause; mais on doit s'attendre à rencontrer beaucoup d'anomalies, surtout d'après la configuration du lit de l'Océan qui doit souvent modifier la circulation des courants inférieurs, à la manière dont la forme et la position des continents et des îles altèrent la position de ceux qui coulent à la surface. Ainsi, en sondant à de grandes profondeurs dans la Méditerranée, les capitaines Bérard et d'Urville ont trouvé que proportionnellement, le froid n'augmente pas autant dans cette mer que dans les régions tropicales de l'Océan, le thermomètre y res-

Digitized by Google

tant fixe à environ 55° Farh. (12,78°) entre mille (300^{m}) et six mille pieds (1800^{m}) de profondeur. Ce résultat pouvait être prévu, car le capitaine Smyth avait constaté que la partie la plus profonde du Détroit de Gibraltar n'était que de treize cent vingt pieds (402^{m}), et qu'il existait ainsi une barrière sous-marine qui doit arrêter les courants inférieurs de l'Océan refroidis par les glaces polaires.

Chacune des quatre causes dont nous venons de parler, le vent, les marées, l'évaporation, et la dilatation ainsi que la contraction de l'eau occasionnées par la chaleur et le froid, peut être considérée comme agissant indépendamment des autres, c'est-à-dire, comme s'exerçant avec une égale énergie, lors même que l'influence de celles-ci serait complétement annihilée. Mais il en est une autre encore, la rotation de la terre sur son axe, qui ne peut intervenir que lorsque les eaux ont déjà été mises en mouvement par quelqu'une des forces précédemment décrites, ou par l'ensemble de ces diverses forces, et lorsque le courant ainsi produit vient à se diriger du sud au nord, ou du nord au sud.

Le principe d'après lequel cette cause agit est sans doute familier au lecteur, car il a depuis longtemps été reconnu comme jouant un grand rôle dans le phénomène des vents alizés; ainsi, au lieu d'en étudier la théorie, nous nous bornerons à offrir un

exemple de son mode d'action. Lorsqu'un courant coule du Cap de Bonne-Espérance vers le Golfe de Guinée, il consiste en une masse d'eau, qui, en doublant le Cap, sous le 35e degré de latitude, a une vitesse de rotation d'environ huit cents milles (près de 300l) par heure; mais quand il atteint la ligne, il arrive à un parallèle où la surface de la terre tourne avec une vitesse de mille milles (362l) à l'heure, c'est-à-dire, de deux cents milles (72l) de plus (*). Or, si cette grande masse d'eau se trouvait transportée tout d'un coup de la latitude la plus haute à la plus basse, la différence en moins de son mouvement de rotation, relativement à celui de la terre et de l'eau avec lesquelles elle viendrait en contact, produirait un mouvement apparent très rapide; — il ne serait pas de moins de deux cents milles (72l) par heure, de l'est à l'ouest.

Si un transport aussi subit avait lieu, la côte orientale de l'Amérique se trouvant entraînée dans une direction opposée, pourrait frapper contre une grande masse d'eau avec une violence extrême, et par suite occasionner la submersion d'une partie considérable du continent. Mais un tel désordre ne se produit pas, parce que l'eau du courant, à mesure qu'elle avance graduellement dans de nouvelles

(*) Voyez une des tables de l'ouvrage déjà cité, du cap. Hall

Digitized by Google

zones de la mer qui se meuvent plus rapidement, acquiert par l'effet du frottement, une vitesse accélérée. Cependant, comme ce mouvement n'est pas communiqué instantanément, le liquide ne s'identifie pas complétement avec la nouvelle surface sur laquelle il est successivement amené, et il s'ensuit pour nous servir du langage d'Herschel, quand il parle des vents alizés, « qu'ils frottent ou reculent dans une direction opposée à la rotation de la terre, c'est-à-dire, de l'est à l'ouest (*) (1). » Ainsi, un courant qui sans ce mouvement de rotation coulerait simplement vers le nord, peut, en vertu de ce même mouvement, acquérir une direction relative vers l'ouest, ou devenir un courant sud-est.

Nous aurons ensuite à considérer un autre cas dans lequel les circonstances sont tout-à-fait opposées. Le Gulf Stream, en coulant d'un point situé sous le 20e parallèle environ, est doué d'abord d'une vitesse de neuf cent quarante milles (340') par heure; puis, il atteint le 40e degré de latitude où la terre ne tourne plus qu'à raison de sept cent soixante-six milles (277') par heure, ou de cent soixante-quatorze milles (63') plus lentement. Dans ce cas, il peut se produire un mouvement relatif

(*) Treatise on Astronomy (Traité d'Astronomie), chap. III.

(1) Voyez aussi dans les Trans. Phil. la vraie théorie des Vents Alizés, donnée pour la première fois par Hadley. T. M.

Digitized by Google

contraire, et le courant peut conserver un excès de vitesse rotative, tendant continuellement à le faire dévier vers l'est.

Ainsi, les courants, de même que les marées, ne dépendent d'aucune circonstance temporaire ou accidentelle, mais des lois qui président aux mouvements des corps célestes. Quoique la somme totale de leur influence sur les changements qu'ils occasionnent à la surface de la terre puisse être constante à diverses époques successives, cela n'empêche pas que les points où cette action se manifeste avec le plus d'énergie ne varient perpétuellement.

La hauteur à laquelle les marées s'élèvent, et la violence, ainsi que la vitesse des courants, dépendent, en grande partie, de la configuration actuelle des continents; — du contour d'une longue ligne de côtes continentales ou de côtes insulaires; — de la profondeur et de la largeur des canaux; — de la forme particulière du fond des mers, — en un mot d'une foule de circonstances que plusieurs causes ignées ou aqueuses, et entre autres les marées et les courants eux-mêmes, font varier continuellement. Quoique ces agents de destruction et de reproduction soient locaux, eu égard à des périodes d'une aussi courte durée que celle que l'histoire embrasse, nous verrons qu'ils sont universels, si

Digitized by Google

nous étendons nos recherches à un nombre de siècles suffisant.

Pouvoir destructeur et force de transport des courants. — Après ces remarques préliminaires sur la nature et les causes des courants, sur leur vitesse et leur direction, nous pouvons considérer leur action sur les matières solides dont se compose l'écorce du globe, — considération qui nous amènera à reconnaître que leurs effets sont, à plusieurs égards, tout-à-fait analogues à ceux des rivières. J'ai déjà parlé dans le chapitre III de la manière dont l'action des courants se combine avec celle des glaces pour transporter du limon, des cailloux et de gros fragments de roches à de grandes distances. Leurs effets sont moins à la portée de l'observation que ceux des rivières, mais ils s'étendent sur des espaces plus considérables, et ont, par conséquent, une plus grande importance en géologie.

Dégradation des côtes britanniques. — Iles Shetland. — Lorsqu'on suit les côtes occidentales et méridionales des îles Britanniques, depuis notre dernière « Thule » jusqu'au cap Land's-End, dans le Cornouailles, on observe des traces évidentes d'une série de changements qui ont eu lieu depuis les temps historiques, et servent à donner une idée

Digitized by Google

de la nature et du degré de force des marées et des courants, lorsque leur action se combine avec celle des vagues de la mer. On voit la trace de leurs effets réunis sur les îles, les promontoires, les baies et les estuaires; sur les falaises les plus élevées ainsi que sur les rivages les plus bas; enfin, sur toute espèce de roches et de sols, depuis le granit jusqu'au sable transporté.

Les Shetland qui forment le groupe le plus septentrional des îles Britanniques, sont composées d'une grande variété de roches telles que le granit, le gneiss, le micaschiste, la serpentine, le grunstein, et plusieurs autres encore, auxquelles sont associées quelques roches secondaires, de grès et de conglomérats surtout. Ces îles sont exposées sans cesse à toute la violence des vagues de l'Atlantique, aucun continent n'intervenant entre leurs rivages occidentaux et l'Amérique. La prédominance de forts vents d'ouest fait donc que les vagues viennent battre quelquefois avec une force irrésistible sur la côte, en même temps qu'un courant venant du nord se fait sentir. L'écume de la mer aide à la décomposition des roches, et les met en état d'être brisées facilement par la force mécanique des vagues. Souvent on voit des rochers escarpés ainsi transformés en cavernes profondes et en voûtes élevées; et presque tous les promontoires se terminent en un groupe

de rochers ayant la forme de colonnes, de pinacles et d'obélisques.

Déplacement de gros blocs de roches. — Des observations modernes ont prouvé que de grandes masses continues se divisent en blocs entièrement isolés, et que ce phénomène se produit encore à l'époque actuelle d'une manière très active. « L'île de Stenness, » dit le docteur Hibbert, « présente une scène de désolation sans égale. Pendant les hivers orageux, des blocs de pierre énormes sont renversés ou déplacés de leur gisement primitif, et entraînés jusqu'à des distances presque incroyables. Dans l'hiver de 1802, une masse, de forme tabulaire, ayant huit pieds deux pouces (2^{m}) sur sept pieds (2^{m},13) et cinq pieds un pouce (1^{m},54) d'épaisseur, fut arrachée de son gisement, et transportée à une distance de quatre-vingt à quatre-vingt-dix pieds (24^{m},38 à 27^{m},43). J'ai mesuré, dit-il, le gîte récent d'où un bloc avait été détaché l'hiver précédent (1818), et j'ai trouvé qu'il avait dix-sept pieds et demi (5^{m},33) sur sept (2^{m},13), et que sa profondeur était de deux pieds huit pouces (63^{c}). La masse déplacée avait été transportée à une distance de trente pieds (9^{m},14), où elle se brisa en treize fragments, au moins, de plus petite dimension; quelques uns allèrent tomber encore plus loin, entre trente (9^{m},14) et cent

Digitized by Google

vingt pieds (36m,57). Un bloc de neuf pieds deux pouces (2m,79) sur six pieds et demi (1m,98), et de quatre pieds (1m,21) d'épaisseur, fut entraîné, toujours en suivant une pente, jusqu'à la distance de cent cinquante pieds (45m,72) (*). »

A Northmaven aussi, plusieurs blocs de pierre angulaires ont été transportés de la même manière, à des distances considérables, par les vagues de la mer. La figure suivante reproduit quelques uns de ces blocs (**).

Fig. 21.

Blocs de pierres entraînés par la mer, Northmaven, Shetland.

(*) Descrip. of Shetland Islands (Description des Iles Shetland), 527, Edimbourg, 1822.

(**) C'est à l'ouvrage du Dr Hibbert déjà cité, et si riche en recherches archéologiques et géologiques, que je suis rede-

Effets de la foudre.—A ces nombreux exemples de masses ainsi déplacées et entraînées par les vagues, les marées et les courants, nous ajouterons quelques effets remarquables produits par la foudre dans ces îles. Vers le milieu du siècle dernier, à Funzie, dans l'île Fetlar, une roche de micaschiste, de cent cinq pieds (32^{m}) de long, sur dix (3^{m},04) de large, et quatre (1^{m},21) d'épaisseur, en plusieurs points, fut en un instant arrachée de son gisement par un coup de foudre, et brisée en trois grands fragments, et plusieurs autres, plus petits. Un de ces fragments qui avait vingt-six pieds (7^{m},92) de long, dix (3^{m},04) de large, et quatre (1^{m},21) d'épaisseur, fut simplement renversé. Le second, dont la longueur était de vingt-huit pieds (8^{m},53), la largeur de dix-sept (5^{m},18) et l'épaisseur de cinq (1^{m},52), fut lancé par-dessus un point élevé, à la distance de cinquante mètres. Un autre, de quarante pieds environ (12^{m}, 19) de long, fut projeté encore plus loin, mais dans la même direction, et alla tomber dans la mer. On trouva aussi quelques fragments plus petits disséminés çà et là (*).

Quand on voit ainsi les phénomènes électriques

vable des quatre figures suivantes représentant quelques rochers des Iles Shetland.

(*) Cité par le Dr Hibbert, d'après le Rev. George Low, de Fetlar.

Digitized by Google

coopérer avec l'action tumultueuse de l'Océan pour amonceler des roches brisées sur la terre sèche et au fond des eaux, on doit admettre nécessairement qu'une région destinée à être, pendant des myriades de siècles, le théâtre de l'action de pareilles causes perturbatrices, pourra, si elle est élevée de beaucoup au-dessus de la mer, offrir, à quelque époque future, une scène de ruine et de destruction comparable à celles dont le géologue observe aujourd'hui les traces à la surface de nos continents.

Dans quelques unes des îles Shetland, comme à l'ouest de Mickle Rhoe, on voit des dykes ou veines de granit tendre, réduits en poussière, tandis que leur gangue, quoique formée de la même substance, mais d'une texture plus résistante, n'est point altérée. Ainsi, des ravins longs et étroits, n'ayant quelquefois que vingt pieds (6^{m},9) de large, se trouvent à découvert, et donnent souvent accès aux vagues. Après avoir décrit quelques grandes ouvertures caverneuses dans lesquelles la mer coule sur un espace de deux cent cinquante pieds (76^{m},20) à Roeness, le docteur Hibbert fait l'énumération d'autres ravages exercés par l'Océan. « Une masse de roche, » écrivait-il en 1822, « dont les dimensions moyennes peuvent être évaluées à douze ou treize pieds carrés (1$^{m.\ car.}$,1 à

Digitized by Google

1$^{m.\ car.}$,2), et à quatre et demi ou cinq pieds d'épaisseur, fut, il y a cinquante ans environ, entraînée hors de son gisement primitif, et transportée à une distance de trente pieds (9^{m},14); depuis, elle a été déplacée encore deux fois. »

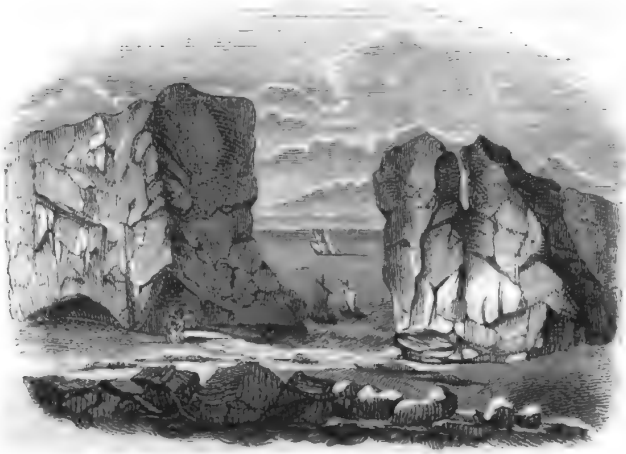
Passage que la mer s'est frayé à travers des roches porphyriques. — « Mais la scène la plus imposante est celle que présente une pile de porphyre, en forme de mur, échappée à l'action de la décomposition qui ravage la côte, et paraissant avoir été laissée debout comme pour servir de rempart contre les invasions de l'Océan. Irrité par les vents d'hiver, l'Atlantique bat contre elle avec autant de force que pourrait le faire une artillerie véritable; et les vagues, à l'aide de leurs efforts répétés, s'y sont frayé une entrée. Cette brèche, appelée « l'Effroi du Navire » (*fig.* 22), est agrandie chaque hiver par les houles de la mer, qui en détachent de gros fragments de roche, et les emportent jusqu'à la distance de cent quatre-vingts pieds (55^{m}) au moins. En deux ou trois points, ces fragments forment des amas immenses, qui ont l'aspect de ces agglomérations de pierres cubiques que l'on tire des carrières (*). »

(*) Hibbert, p. 528.

Digitized by Google

Ainsi, quelque indestructibles que soient certaines roches, elles ne peuvent résister indéfiniment à

Fig. 22.



« L'effroi du Navire. » — Passage ouvert par la mer à travers des roches de porphyre dur.

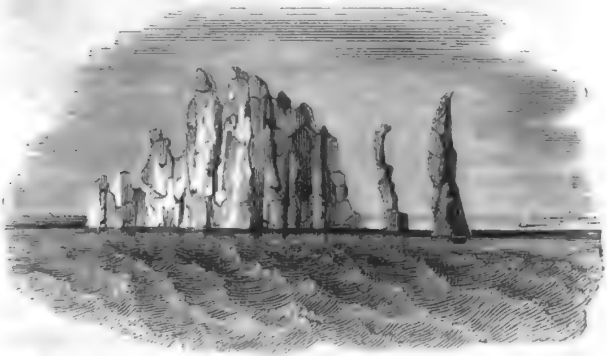
l'action des agents extérieurs. Il existe dans les îles Shetland plusieurs localités où des roches, les plus diverses sous le rapport de la composition minérale, subissent une dégradation sensible. Telles sont entre autres le schiste argileux de Fitfel Head ; la serpentine du Vord Hill, dans l'île Fetlar, et le mica-schiste de la baie de Triesta, située sur la côte orientale de la même île, où cette roche se décompose en

Digitized by Google

blocs angulaires. Le quartzite que l'on trouve à l'est de Walls, ainsi que le gneiss et le micaschiste de Garthness, éprouve les mêmes effets.

Destruction d'îles. — De tels ravages ne peuvent se produire incessamment, pendant des milliers d'années, sans donner lieu au morcellement de certaines îles, qui finissent ainsi par devenir de simples groupes de rochers, derniers débris de masses autrefois continues. Un grand nombre d'îles paraissent avoir été réduites à cet état, et il n'est pas de formes bizarres que n'affectent les rochers adjacents auxquels on a donné le nom de « Drongs », comme à ceux qu'on observe aux îles Fœroë.

Fig. 23.



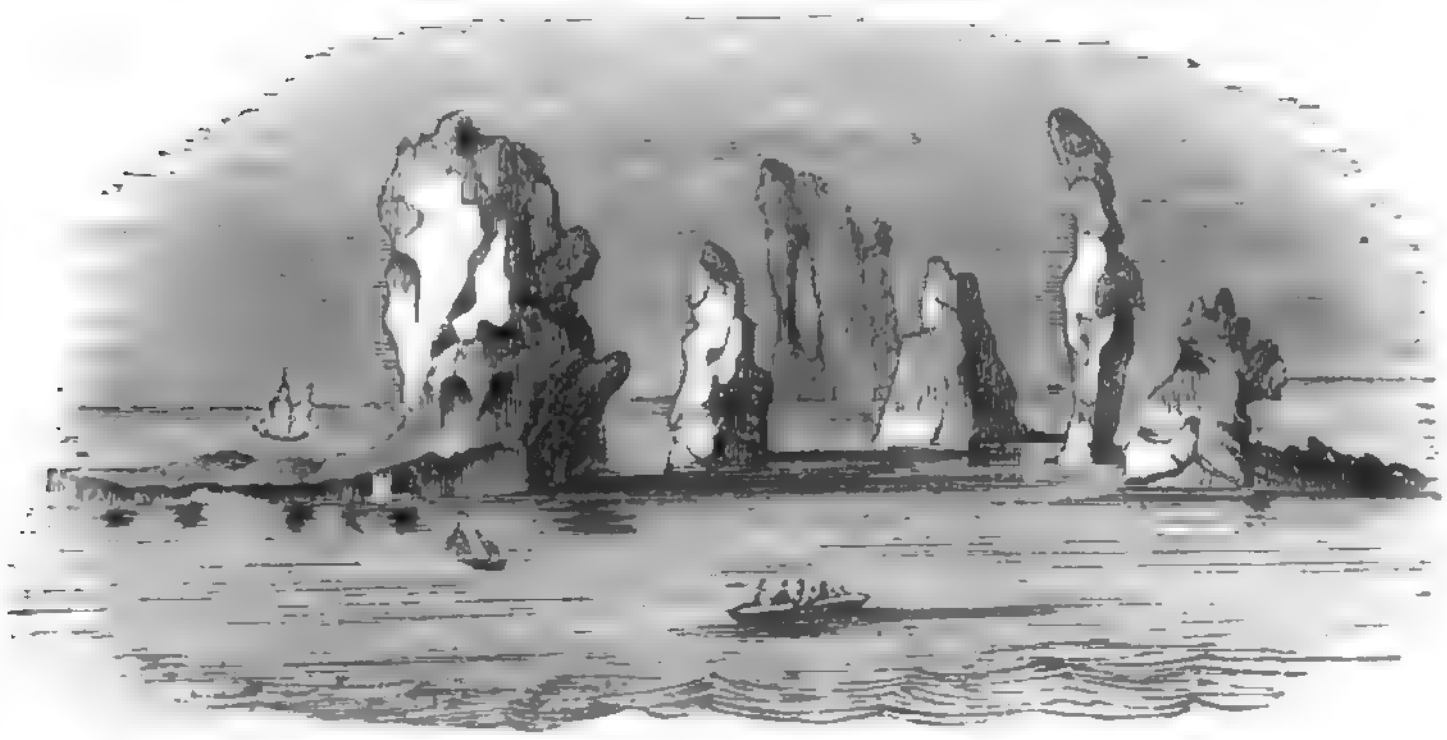
« *Les Drongs.* » — *Rochers granitiques, situés entre Papa Stour et Hillswick Ness.*

Digitized by Google

Les rocs de granit situés entre Papa Stour et Hillswick Ness en présentent un exemple. (Voyez *fig.* 23.)

Un groupe plus singulier encore se remarque au sud d'Hillswick Ness. (*Fig.* 24.) Vu de différents points, il offre autant de formes diverses, et a souvent été comparé à une petite flotte dont les vaisseaux auraient leurs voiles déployées (*).

Fig. 24.



Rochers granitiques au sud d'Hillswick Ness, Shelland.

On peut supposer, d'après l'inégale décomposition des roches de gneiss et de micaschiste traversées en tous sens par des veines de porphyre feldspathique, dont se compose Hillswick Ness, que, par la suite

(*) Hibbert, p. 519.

des temps, cette île elle-même ne présentera plus qu'un semblable amas de débris.

A mi-chemin, entre les Shetland et les Orcades, se trouve l'île de Fair, que l'on dit formée de grès, et entourée de falaises très élevées. Là, le courant est si rapide, que même en temps de calme, et sans qu'il y ait de vagues, les rochers qui bordent les rivages de cette île sont blanchis par l'écume de la mer. Si les Orcades étaient étudiées avec soin, elles offriraient probablement, en faveur du sujet que nous traitons, autant d'exemples curieux que le groupe des Shetland. Le promontoire situé au nord-est de Sanda, l'une de ces îles, a été détruit par la mer dans les temps modernes, de sorte qu'aujourd'hui il forme ce que l'on appelle l'île Start, où un phare a été érigé en 1807, époque depuis laquelle le nouveau détroit s'est élargi.

Côte orientale d'Ecosse. — La partie continentale de l'Ecosse présente aussi des traces d'invasion de la mer, soit au Fort George, dans l'Inverness-shire, soit en d'autres endroits du Morayshire, où elle a entraîné la vieille ville de Findhorn. Vers la fin du siècle dernier, la côte du Kincardineshire a offert un exemple de la manière dont des caps peuvent garantir une ligne de basse côte des atteintes des vagues.

Digitized by Google

Le village de Mathers, situé à deux milles au sud de John's-Haven, avait été bâti sur un ancien banc de galets, protégé par un récif de roche calcaire. Cette roche fut exploitée sur une étendue si considérable, pour être employée à faire de la chaux, que la mer put s'y frayer un passage. En 1795, elle entraîna tout le village dans une nuit, et pénétra jusqu'à 150 mètres dans l'intérieur des terres, où elle a toujours séjourné depuis. Le village fut rebâti plus loin, sur le nouveau rivage. Dans la baie de Mont-Rose, on trouve le North-Esk et le South-Esk, — rivières qui, bien qu'elles apportent chaque année de grandes quantités de sable et de cailloux à la mer, n'ont point formé de deltas, par la raison que les vagues et le courant qui traverse leurs embouchures, entraînent toutes les matières qui y sont amenées. On observe, le long du rivage, des lits considérables de galets déposés par le North-Esk.

En avançant vers le sud, on voit qu'à Arbroath, dans le Forfarshire, dont le sol appartient au terrain de grès rouge, plusieurs jardins et plusieurs maisons ont été entraînés par la mer, depuis le commencement du siècle actuel. A Button Ness, dans le même comté, on avait, avant 1828, été obligé de déplacer les phares, par suite de l'empiètement de la mer, qui s'était avancée de trois quarts de mille ($\frac{1}{4}$ de lieue environ). Ils étaient construits à l'em-

Digitized by Google

bouchure de l'estuaire du Tay, sur un terrain formé de sable transporté.

Force des vagues et des courants dans les estuaires. — L'action combinée que les vagues et les courants peuvent exercer dans les *estuaires* (nom que je donne exclusivement aux baies dans lesquelles entrent les rivières et les marées) a été mise en évidence d'une manière très remarquable lors de la construction du phare de Bell Rock, à la hauteur de l'embouchure du Tay. Le Bell Rock est un récif de grès rouge, situé à douze milles (4 l.) environ du continent, et qui, à la haute mer, se trouve de douze à seize pieds ($3^m \frac{1}{2}$ à 5^m) au-dessous de la surface des eaux. A la distance de cent mètres, la profondeur est, dans toutes les directions, de deux ou trois brasses à la basse mer. En 1807, lors de l'érection du phare, six gros blocs de granit qui avaient été déposés sur le Bell Rock furent déplacés par la force des vagues, et jetés sur un récif en pente, à la distance de douze ou quinze pas. Une ancre pesant à peu près 22 quintaux fut lancée sur le rocher (*). M. Stevenson rapporte en outre que des pierres transportées, ayant plus de trente pieds cubes ($0^{m.\,cub.}$,8494), et pesant plus de deux ton-

(*) Account of the Erection of the Bell Rock Lighthouse (Rapport sur l'érection du Phare de Bell Rock), p. 163.

Digitized by Google

neaux, ont souvent, pendant des orages, été jetées d'une assez grande profondeur sur le rocher (*).

Forêts sous-marines. — Parmi les diverses preuves de l'empiètement de la mer sur la portion de terre ferme qui borde l'estuaire du Tay, le docteur Fleming a cité une forêt sous-marine qui a été suivie sur un espace de plusieurs milles, le long du rivage septentrional du comté de Fife (**). Mais des explorations plus récentes ont suffisamment démontré que le lit de tourbe qui se trouve aujourd'hui à un niveau inférieur à celui du Tay, et qui renferme des feuilles, des branches et des racines d'arbres, doit avoir pris cette position par suite de l'abaissement général du sol sur lequel la forêt s'était développée. Ce lit de tourbe, dit M. Buist, n'est pas limité au canal actuel du Tay; il s'étend, au contraire, bien au-delà, et est recouvert d'une argile stratifiée de quinze à vingt-cinq pieds (4m,57 à 7m,62) d'épaisseur, au milieu de laquelle se rencontre, en quelques endroits, un lit entièrement formé de coquilles marines (***). Des découvertes nouvelles ayant constaté que des mouvements ascendants et descendants se

(*) Ed. Phil. Journ., vol. III, p. 54, 1820.

(**) Quart. Journ. of Sci., etc. (Journal Trimestriel des Sciences, etc.), n° XIII, Nouv. Sér., Mars 1830.

(***) Buist. Quart. Journ. of. Agricult. (Journal Trimestriel d'Agriculture), n° XLV, p. 34, Juin 1839.

sont produits en Angleterre depuis que la ligne générale de côte a presque entièrement acquis sa forme actuelle, on doit hésiter beaucoup avant d'attribuer aucun de ces changements à une cause unique, telle que l'empiètement local de la mer sur des terres basses.

A St.-Andrew's, sur la côte du Fifeshire, une étendue de terre que l'on dit avoir existé autrefois entre le château du cardinal Beaton et la mer, a été entièrement entraînée, comme le furent aussi, en 1803, dans le même comté, les derniers restes du Prieuré de Crail. Des deux côtés du Golfe de Forth, la terre ferme a été enlevée; — à North Berwick et à Newhaven surtout, où un arsenal et un chantier construits sous le règne de Jacques IV, dans le xve siècle, furent envahis par la mer.

Côte orientale d'Angleterre.—En avançant vers la côte d'Angleterre, on trouve des traces nombreuses de portions de terre qui ont été détruites dans le Northumberlandshire, près de Bamborough, d'Holy Island, et à Tynemouth Castle, qui aujourd'hui confine à la mer, après en avoir été, autrefois, séparée par une langue de terre. A Hartlepool, ainsi qu'en plusieurs autres parties de la côte du Durhamshire, formée de calcaire magnésien, la mer a fait des empiètements considérables.

Digitized by Google

Côte du Yorkshire. — Presque toute la côte du Yorkshire, à partir de l'embouchure de la Tees jusqu'à celle de l'Humber, est dans un état de destruction continue. La partie des falaises qui appartient au lias, au terrain oolithique et à la craie, s'use lentement. Elles présentent des précipices nus et abruptes, dont la profondeur atteint souvent jusqu'à trois cents pieds (91^{m}), et ce n'est qu'en un petit nombre de points que la végétation qui recouvre les pentes du talus indique le repos temporaire de l'action érosive de la mer. Les falaises de craie prennent la forme de cavernes et d'aiguilles dans le cap de Flamborough, où elles sont décomposées par l'écume de la mer, et tombent lentement en poussière. Mais c'est surtout entre ce cap et Spurn Point que la destruction s'opère le plus rapidement. Cet espace, auquel on a donné le nom de côte d'Holderness, consiste en lits d'argile, de gravier, de sable et de débris de la craie. Le mélange irrégulier des couches argileuses donne lieu à l'écoulement de sources, et cela contribue à augmenter l'action destructive occasionnée par le mouvement des vagues qui battent contre ces couches, et par le fort courant qui vient du nord principalement. Cette action s'exerce avec une très grande intensité à Dimlington Height, point culminant de la côte d'Holderness, où le fanal est fixé sur

Digitized by Google

unrocher dont l'élévation surpasse de 146 pieds (44m,50), le niveau de la haute mer. Ce rocher est, ainsi que l'ensemble de la côte, composé d'argile, et de cailloux qui y sont disséminés (*).

Sur les vieilles cartes du Yorkshire, on trouve des points indiquant l'ancienne situation des villes et villages d'Auburn, de Hartburn et de Hyde, qui, aujourd'hui, ne sont plus que des bancs de sable avançant dans la mer. « On ne connaît de Hyde, » dit Pennant, « que ce que la tradition en a conservé; et près du village de Hornsea, une rue désignée sous le nom de Hornsea Beck a, depuis longtemps, été engloutie (**). » Owthorne et son église ont, ainsi que le village de Kilnsea, été également détruits en grande partie; mais les points qu'ils occupaient se trouvent maintenant bien plus avant dans les terres qu'ils ne l'étaient alors. On évalue à quatre mètres environ le taux moyen annuel de l'empiètement qui, antérieurement à 1830, a eu lieu à Owthorne pendant plusieurs années (***). Il est à craindre qu'à quelque époque future le Spurn Point ne devienne une île, et que l'Océan, pénétrant dans

(*) Phillips's Geology of Yorkshire (Géologie du Yorkshire, par Phillips), p. 61.

(**) Arctic Zoology (Zoologie Arctique), vol. I. p. 10. Introduction.

(***) C'est à M. Phillips de York que je suis redevable de ce renseignement.

Digitized by Google

l'estuaire de l'Humber, n'occasionne de grands dégâts (*). Pennant, après avoir parlé de l'envasement de quelques anciens ports de cet estuaire, observe que « la mer a fait, en retour, de très amples représailles; que la position, et même le nom de plusieurs lieux où jadis s'élevaient sur l'Humber des villes importantes, n'existent plus que dans l'histoire; qu'autrefois Ravensper rivalisait avec Hull (Madox, Ant. Exch. I. 422), et qu'en 1332, son port était si considérable, qu'Édouard Baliol et les barons anglais confédérés s'y embarquèrent pour aller à la conquête de l'Écosse; enfin qu'en 1399 ce fut aussi ce port que Henri IV choisit pour y débarquer, lorsqu'il vint déposer Richard II. Tout cela, » ajoute-t-il, « a depuis longtemps été détruit par l'impitoyable Océan, qui n'a laissé à la place qu'une vaste étendue de sables que la basse mer met à sec (**). »

Dans sa description du Spurn Head, Pennant donne à ce cap la forme d'une faucille, et prétend que sur un espace de quelques milles, vers le nord, la terre ferme a « constamment été minée par la Mer d'Allemagne, qui engloutit des acres entiers à la fois, et jette sur le rivage des quantités considérables de très bel ambre (***). »

(*) Phillips's Geology of Yorkshire, p. 60.
(**) Arct. Zool., vol. I. p. 13. Introduction.
(***) Id.

Digitized by Google

Suivant Bergmann, une langue de terre et plusieurs villages furent entraînés, en 1475, près de l'embouchure de l'Humber.

Lincolnshire. — Le district maritime du Lincolnshire consiste principalement en terres dont le niveau est inférieur à celui de la mer, mais qui sont protégées par des digues. A une époque ancienne que l'on ne peut préciser, plusieurs grandes parties de ce terrain marécageux étaient boisées; plus tard elles furent envahies par la mer, qui aujourd'hui ne les recouvre plus. Quelques uns des marais furent endigués et desséchés par les Romains; mais après leur départ la mer revint, et de grands espaces furent couverts de lits de vase renfermant des coquilles marines. Depuis, ces mêmes espaces ont été de nouveau convertis en terres cultivables. On cite un grand nombre de catastrophes terribles dues à des invasions de la mer qui, à différentes époques, ont occasionné la destruction de plusieurs paroisses.

Sir John Rennie et plusieurs autres ont proposé dernièrement d'essayer de reprendre à la mer une grande partie de l'espace compris entre les comtés de Lincoln et de Norfolk, et désigné sous le nom « du Wash. » Le plan de ce projet consiste à approfondir et à redresser les canaux de l'Ouze, du Nene, du Witham et du Welland, qui seraient tous ren-

Digitized by Google

fermés entre des bords réguliers, et réunis en un seul grand canal au centre du Wash. L'étendue de terre ainsi conquise depuis le XVIIe siècle est déjà très considérable, et celle que les auteurs du projet en question espèrent obtenir sur les rivages opposés du Lincolnshire et du Norfolkshire s'élèverait à 150,000 acres (60,700 hectares), ce qui serait encore moitié de l'espace occupé par le Rutlandshire (*).

La quantité de limon que tiennent en suspension les eaux du flot entrant dans les rivières qui se jettent dans le Wash est si considérable, que l'accroissement du sol résultant de l'accumulation du « *warp* » (1), partout où la force du vent et des courants peut être réprimée, est prodigieusement rapide. Quand, par exemple, une portion de l'ancien canal de l'Ouze, contenant 800 acres (324 hectares), fut abandonnée par suite d'un changement dans l'écoulement des eaux, elle se combla naturellement, jusqu'à la hauteur de vingt-cinq pieds (7^m,62) en cinq ou six ans (**).

Norfolkshire. — Nous voici arrivé aux falaises du Norfolkshire et du Suffolkshire, dont la dégrada-

(*) Sir J. Rennie, Report on River Ouze Outfall Improvement. (Rapport sur les perfectionnements à opérer dans le cours de la rivière Ouze), p. 13, Juillet, 1839.

(1) Voyez au Glossaire, placé à la fin de cet ouvrage, la signification de cette expression locale. T. M.

(**) Report on River Ouze Outfall Improvement, p. 9.

Digitized by Google

tion s'opère en général d'une manière rapide et incessante. A Hunstanton, vers le nord, le creusement des couches arénacées, situées au pied de la falaise, occasionne la chute de masses supérieures de craie rouge et blanche. Entre Hunstanton et Weybourne, des collines basses, ou dunes de sable accumulé par le vent, règnent le long du rivage, où elles s'élèvent jusqu'à la hauteur de cinquante ou soixante pieds (15 à 18^{m}). Elles sont formées d'un sable sec que relient en une masse compacte les longues racines rampantes de l'*Arundo arenaria*. Le régime actuel des marées est tel, que les ports de Clay, de Wells, et de plusieurs autres lieux, sont défendus d'une manière très sûre par ces barrières, — circonstance qui prouve évidemment que ce n'est pas la force des matériaux amoncelés en certains points qui détermine l'état progressif ou stationnaire de la mer, mais bien la configuration générale de la côte.

Les vagues minent sans cesse les falaises peu élevées et composées de craie recouverte de sable et d'argile qui s'étendent entre Weybourne et Sherringham : aussi, chaque année, une certaine portion de ces falaises se trouve-t-elle enlevée. En 1829, j'ai constaté dans la dernière de ces deux villes plusieurs faits propres à faire apprécier le taux de l'empiètement de la mer sur la terre ferme. On a cal-

Digitized by Google

culé, lorsque l'hôtellerie qui existe actuellement fut bâtie, en 1805, qu'il faudrait 70 ans pour que la mer pût atteindre ce point, des observations antérieures ayant conduit à évaluer la perte moyenne de la terre ferme à un peu moins d'un mètre par année. La distance entre la maison et la mer était de cinquante mètres ; mais on n'avait pas tenu compte de la pente du terrain, qui, se dirigeant de la mer vers l'intérieur, accélérait naturellement la destruction chaque année, à mesure que la falaise devenait plus basse, parce qu'alors la quantité de matière à déplacer était moins considérable, quand des masses d'égal volume tombaient. Pendant les années 1824 à 1829, dix-sept mètres de terrain furent entraînés ; il ne resta qu'un petit jardin entre le bâtiment et la mer. En 1829, la mer avait, en un certain point du havre de ce port, une profondeur (vingt pieds — 6^{m}) suffisante pour qu'une frégate pût s'y tenir à flot, bien que, quarante-huit années auparavant, une falaise de cinquante pieds (15^{m}) de haut, et sur laquelle plusieurs maisons étaient bâties, s'élevât en ce même point ! Si, autrefois, dans l'espace d'un demi-siècle, un pareil changement eût été produit subitement, par le choc momentané d'un tremblement de terre, l'histoire aurait enregistré le récit d'une aussi étonnante révolution de la surface du globe ; mais quand la

Digitized by Google

transformation de terres élevées en mers profondes s'opère graduellement, un tel phénomène n'excite l'attention que sur les lieux où il se produit. Entre les années 1814 et 1829, le mât de pavillon de la station de « Preventive Service, » au midi de ce port, fut par trois fois reculé dans l'intérieur des terres, par suite de l'invasion de la mer.

Plus loin, vers le sud, on trouve des falaises composées, comme celles d'Holderness, de couches alternantes d'argile bleue, de gravier, de marne et de sable fin. Bien que ces falaises aient quelquefois plus de 300 pieds (91^{m}) de haut, les ravages qui ont lieu sur la côte sont énormes. Toute la place qu'occupait l'ancien Cromer fait partie aujourd'hui de la Mer d'Allemagne ; les habitants de ce bourg se sont peu à peu retirés dans l'intérieur des terres jusqu'au point où ils sont établis maintenant ; mais la mer menace encore de les en chasser. Dans l'hiver de 1825, une masse détachée des falaises fut précipitée du voisinage du phare. Elle recouvrait un espace de douze acres (4$^{hect.}$,856), et s'étendait très loin dans la mer. Les falaises ont, en ce point, deux cent cinquante pieds (76^{m}) de haut (*). Les sources, en minant les roches, ont quelquefois déterminé la chute de très grandes portions du som-

(*) Taylor's Geology of East Norfolk (Géologie du Norfolkshire oriental, par Taylor), p. 32.

met des falaises et des maisons qui s'y trouvaient encore, de sorte qu'il est impossible, même en érigeant des brise-lames à la base des falaises, de les garantir complétement des accidents auxquels elles sont exposées.

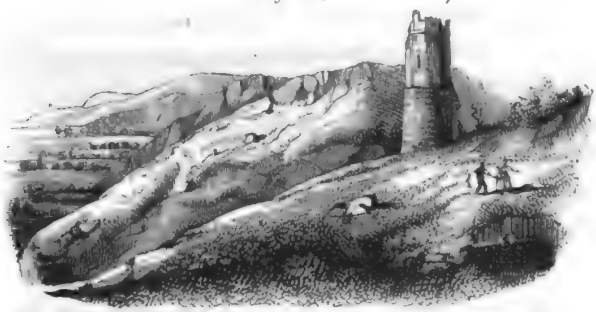
Sur la même côte, dit M. R. C. Taylor, les anciens villages de Shipden, de Wimpwell et d'Eccles ont disparu; plusieurs fermes et des portions considérables de diverses paroisses voisines ont aussi, peu à peu, été entraînées, la mer n'ayant, en ce point, cessé, de temps immémorial, d'exercer ses ravages sur une ligne de côte de vingt milles (7[1]) de longueur (*). Cependant un monument subsiste encore : c'est la tour en ruines de la vieille église d'Eccles, qui est à moitié engloutie dans les dunes de sable, à une soixantaine de pas du rivage de la mer. (*Fig.* 25.) En 1605, les habitants adressèrent une pétition à Jacques Ier dans le but d'obtenir une réduction d'impôts, trois cents acres (121 hectares) de terre, et toutes leurs maisons, à l'exception de quatorze, ayant, à cette époque, été engloutis par la mer. Aujourd'hui, l'étendue de cette paroisse ne s'élève pas à moitié de ce nombre d'acres, et des collines de sable occupent la place des maisons qui existaient encore en 1605. Lorsque je visitai ces lieux, en 1839,

(*) Taylor's Geology of East Norfolk, p. 32.

Digitized by Google

la mer envahissait rapidement les collines de sable, et avait mis à découvert sur le rivage les fondations d'une maison de quatorze mètres carrés, dont la partie supérieure s'était écroulée avant d'être enterrée sous le sable. Le corps de l'église est enfoui depuis longtemps aussi, mais la tour est encore visible.

Fig. 25.



Tour de l'église d'Eccles, enterrée dans le sable, Norfolkshire.

Ce dessin représente la pente intérieure des collines de sable transporté par le vent, avec le phare de Hasborough que l'on voit dans l'éloignement.

Les collines de sable transporté par le vent qui se trouvent entre Eccles et Winterton ont intercepté le passage aux marées, et les ont empêchées, pendant plusieurs siècles, de pénétrer dans les embouchures de divers petits estuaires; mais neuf brèches de

Digitized by Google

vingt à cent vingt mètres de large ayant été faites dans ces estuaires, il en résulta pour les terrains bas situés dans l'intérieur des dommages énormes. A quelques milles au sud de Happisburgh, on rencontre aussi des collines de sable transporté qui s'étendent jusqu'à Yarmouth. Ces *dunes* offrent une protection temporaire à la côte, et une falaise intérieure, qui, à Winterton, s'étend sur un mille ($\frac{4}{3}$ de l.) de longueur à peu près, indique clairement que la mer dut jadis pénétrer en ce point plus avant qu'elle ne le fait aujourd'hui.

Comblement des estuaires. — A Yarmouth, la mer n'a pas fait le moindre empiètement sur les sables depuis le règne d'Élisabeth. Au temps des Saxons, un grand estuaire s'étendait jusqu'à Norwich, ville que l'on représentait, même dans les XIIIe et XIVe siècles, « comme étant située sur les bords d'un bras de mer. » Les sables sur lesquels Yarmouth est bâtie commencèrent à se consolider et à former un terrain habitable vers l'an 1008. Depuis cette époque, une ligne de dunes qui augmente graduellement en hauteur et en largeur s'étend comme une barrière devant l'entrée de l'ancien estuaire, et empêche si complétement les marées de s'y introduire qu'elles ne pénètrent que par le passage étroit que la rivière tient ouvert, et qui, peu à

Digitized by Google

peu, s'est déplacé de plusieurs milles vers le sud. A l'embouchure de la rivière, les marées ordinaires ne s'élèvent aujourd'hui qu'à trois ou quatre pieds (90^{c} ou 1^{m},20), et les grandes marées, à huit ou neuf (2^{m},43 ou 2^{m},75) environ.

Par suite de l'éloignement de la mer, plusieurs milliers d'acres de terre ont pu être livrés à la culture, et, sans compter un certain nombre de petits étangs, plus de soixante lacs d'eau douce ont été formés. Leur profondeur varie de quinze à trente pieds (4^{m},50 à 9^{m}), et leur étendue, d'un acre (0$^{hect.}$,405) jusqu'à douze cents (486$^{hect.}$) (*). L'Yare, ainsi que plusieurs autres rivières, communique souvent avec ces nappes d'eau, de sorte qu'elles sont exposées à être remplies graduellement de dépôts lacustres et fluviatiles, et à être transformées en terres couvertes de forêts : toutefois, on ne doit pas supposer que l'addition de nouvelles terres propres à la culture, dans le Norfolkshire et le Suffolkshire, indique un accroissement permanent des limites orientales de l'Angleterre, capable de compenser les pertes réitérées qu'elles éprouvent. Aucun *delta* ne peut se former sur un tel rivage.

A la hauteur de Yarmouth, et parallèlement au rivage, se trouve une longue rangée de bancs de sable,

(*) Taylor's Geology of East Norfolk, p. 10.

dont la forme change lentement d'une année à l'autre, et quelquefois subitement après de forts orages. Le capitaine Hewett, de la marine royale, trouva en 1836, dans ces bancs, un large canal de soixante-cinq pieds (20^{m} env.) de profondeur, en un endroit qui n'avait que quatre pieds (1^{m},22), lors d'une autre exploration faite en 1822. La mer avait donc creusé en quatorze années, et même peut-être en moins de temps, un canal de soixante pieds (18^{m},28) de profondeur Ce nouveau canal sert aujourd'hui (1838) d'entrée aux vaisseaux dans la rade de Yarmouth ; et il montre par son étendue à quel point des changements dans la direction des vagues et des courants pourraient exposer les terres dont s'est augmenté l'ancien estuaire de l'Yare, à être submergées.

On conçoit aisément que de grands bancs puissent se former devant des embouchures des estuaires situés sur la côte orientale d'Angleterre, en des points où le cours des rivières n'est pas assez considérable pour maintenir un canal ouvert, quand on songe que le courant marin qui coule le long de la côte est chargé de débris de falaises en ruine, et peut former une barre dès que sa marche est interrompue ou contrariée par un courant opposé. Depuis les cinq derniers siècles, l'embouchure de l'Yare s'est détournée de quatre milles (1^{l} $\frac{1}{3}$) environ vers le sud Il y a tout lieu de croire aussi

Digitized by Google

qu'à quelque époque ancienne, l'Alde se jetait dans la mer à Aldborough, et qu'elle a continué à s'y décharger, jusqu'à ce que son ancienne embouchure se trouvât barrée, et ensuite transportée à une distance de dix milles ($3' \frac{1}{3}$) vers le sud-ouest. Des bancs de sable et de galets, semblables à ceux de Lowestoff Ness, que nous décrirons tout-à-l'heure, ont été formés entre la rivière et la mer, et une falaise, jadis maritime, est maintenant intérieure.

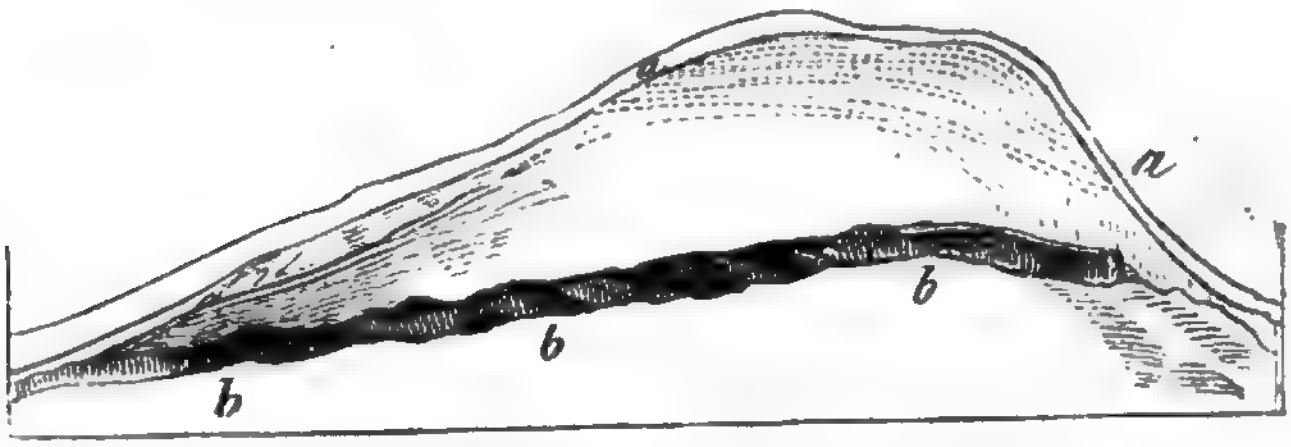
Peut-être demandera-t-on pourquoi, sur la côte orientale d'Angleterre, les rivières sont toujours déviées vers le sud, bien que le flot de la marée se dirige alternativement du sud au nord, et du nord au sud? A cela nous répondrons que cette circonstance doit être attribuée à la puissance de la vague de marée venant de l'Atlantique, que l'on désigne ordinairement sous le nom de « flot de la marée montante. » Une petite portion de cette vague se dirige vers l'est, en remontant la Manche et le Pas-de-Calais; puis, elle coule dans la direction du nord, tandis que la partie principale se mouvant beaucoup plus rapidement dans une mer plus ouverte, longe la côte occidentale d'Angleterre, traverse les Orcades, passe entre la Norwége et l'Écosse, et descend avec une grande vitesse le long de la côte orientale des Iles Britanniques. On sait que sur cette

côte, les plus hautes marées sont occasionnées par un vent nord-ouest très fort, qui, en élevant la partie orientale de l'Atlantique, fait qu'un plus grand volume de ses eaux se déverse dans la Mer d'Allemagne. Cette circonstance d'un vent violent du large, accompagné d'un soulèvement des eaux, au lieu d'une retraite générale de la mer, excite naturellement la surprise des habitants de la côte. Dans plusieurs districts, quand les vents dominants viennent du nord-ouest, ils comptent avec une entière assurance sur une abondante récolte de varech, — cet engrais si précieux, — et rarement ils sont trompés dans leur attente. Du reste, ce phénomène excite à tel point la curiosité, que souvent la cause en est discutée par des paysans et par des pêcheurs, qui, pour l'expliquer, ont plus d'une fois hasardé des théories de leur invention. L'idée la plus ingénieuse que j'aie entendu exprimer à cette occasion est celle-ci : une grande masse d'eau de la surface, disent-ils, est repoussée du rivage par le vent; mais elle s'y trouve ensuite ramenée pour que le niveau de la mer se rétablisse, et il en résulte un sous-courant puissant qui arrache le varech du lit de la mer et le jette sur le rivage. Quoi qu'il en soit, je n'hésite pas à croire que la véritable explication du phénomène ne soit celle dont il a été fait mention ci-dessus.

Digitized by Google

Côte du Suffolkshire. — Les falaises du Suffolkshire, que nous allons examiner, ont un peu moins d'élévation que celles du Norfolkshire, mais elles sont composées d'alternances semblables d'argile, de sable et de gravier. Depuis Gorleston, dans le Suffolkshire, jusqu'à quelques milles au nord de Lowestoff, elles sont minées lentement. Près de cette dernière ville, on voit une falaise intérieure de soixante pieds (18^{m},28) de haut, dont le talus est couvert de gazon et de bruyère.

Fig. 26.



Carte du Lowestoff Ness, Suffolkshire (*).

a, *a*. Les lignes ponctuées indiquent une série de couches de sable et de galets qui forment l'extrémité de l'espace triangulaire appelé le Ness.

b, *b*, *b*. La ligne ombrée représente la falaise intérieure sur laquelle la ville de Lowestoff est bâtie. C'est entre elle et la mer que se trouve le Ness.

Entre la falaise et la mer se trouve une étendue de sable, basse et unie, que l'on nomme le Ness. Elle

(*) Extrait du Mémoire de M. R. C. Taylor, voyez plus loin.

Digitized by Google

à près de trois milles (1') de longueur, et est, en très grande partie, hors d'atteinte des plus hautes marées. La pointe du Ness s'avance depuis la base de la falaise primitive jusqu'à la distance de six cent soixante mètres. Cette augmentation de terre ferme, dit M. Taylor, s'est produite à plusieurs époques successives, et assez éloignées les unes des autres, par l'influence de courants qui coulent entre le rivage et un haut fonds situé à un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) environ de Lowestoff, et connu sous le nom de Holm Sand. Les lignes d'accroissement qu'on remarque dans le Ness sont indiquées par une série de digues ou de crêtes concentriques qui entourent des espaces peu étendus. Plusieurs de ces digues ont été observées, lors de leur formation, par des personnes qui existent encore aujourd'hui. Un rempart de matériaux pesants a d'abord été amoncelé à une certaine hauteur par quelque marée extraordinaire, accompagnée d'un vent violent. Les marées suivantes ont ensuite agrandi la base de ce haut banc de galets, dont les interstices se sont remplis de sable que le vent envoie du rivage. L'Arundo et diverses autres plantes marines y ont pris racine peu à peu; puis, en rampant le long du monticule, elles ont donné de la solidité à la masse, et formé quelquefois une sorte de recouvrement entrelacé de gazon. Dans le même temps, une autre butte s'est élevée plus loin, comme la première, et

Digitized by Google

a servi à la protéger. Quand la mer se fraie un passage à travers une des buttes extérieures et incomplètes, la brèche qu'elle y fait est bientôt réparée. Au bout d'un certain temps, les plantes marines qui s'étaient d'abord développées dans l'espace entouré par ces atterrissements, sont remplacées par une autre végétation qui fournit de bons pâturages, et les sables acquièrent assez de consistance pour pouvoir supporter des constructions (*).

Destruction de Dunwich par la mer. — La mer mine les hautes falaises situées près de Corton, à quelques milles au nord de Lowestoff, et celles que l'on observe à deux milles ($\frac{2}{3}$ de l.) au sud de la même ville, à Pakefield, village qui a été détruit en partie pendant le siècle actuel. Depuis ce point jusqu'à Dunwich, la destruction continue, et à deux cent cinquante mètres de la falaise en ruine de Pakefield, où l'on doit supposer qu'à une époque peu éloignée le sol était à sec, la mer a aujourd'hui seize pieds (près de 5^{m}) de profondeur à la marée basse; un peu plus loin, dans la rade, elle en a vingt-quatre (7^{m},30). Des récits authentiques attestent la destruction graduelle de Dunwich, qui,

(*) La formation du Ness a été très bien décrite par M. R. C. Taylor, dans le Phil. Mag. (Magasin Philosophique), Octobre 1827, p. 297.

Digitized by Google

jadis, était le port le plus considérable de cette côte. Gardner, dans son histoire de ce bourg, publiée en 1754, prouve, d'après des documents qui remontent au « Doomsday Book », qu'à Dunwich, à Southwold, à Eastern et à Pakefield, les falaises se sont toujours minées. A Dunwich, particulièrement, deux portions de terre qui, au onzième siècle, sous le règne d'Édouard-le-Confesseur, avaient été soumises à la taxe, sont citées dans la relation faite peu d'années après par le Conquérant, comme ayant été détruites par la mer. Cette relation indique aussi d'autres dégâts qui eurent lieu plus tard, à des époques dont elle donne les dates. C'est d'abord la destruction d'un monastère, — puis celle de plusieurs églises, — de l'ancien port ; — l'engloutissement de quatre cents maisons à la fois ; — la disparition de l'église Saint-Léonard, de la grande route, de l'hôtel de ville, de la prison, et de différents autres bâtiments. Il a été constaté que, dans le seizième siècle, il n'y eut pas un quartier de la ville qui resta debout. Les habitants se retirèrent dans les terres, et donnèrent à leur nouvelle résidence le nom de la ville détruite, comme cela est arrivé pour plusieurs autres ports, après qu'ils furent envahis par la mer. Toutefois, une église d'une grande antiquité est encore sur pied : c'est la dernière des douze qui se trouvent mentionnées dans quelques relations. La

Digitized by Google

mise à découvert, en 1840, du cimetière de Saint-Nicolas et de Saint-François, dans les falaises maritimes, a été très bien décrite par Gardner. Il parle des cercueils et des squelettes qui se trouvaient exposés à la vue, et dont quelques uns reposaient sur le rivage, bercés « par les flots de la mer en courroux. » — Aujourd'hui, l'on ne voit aucune trace de ces cimetières. Ray dit aussi, « que dans plusieurs anciens ouvrages, il est question d'un bois situé à un mille et demi (une demi-lieue) à l'est de Dunwich, et dont l'ancien emplacement doit à présent se trouver à une distance pareille dans la mer (*). » Cette cité, jadis si florissante et si populeuse, n'est plus maintenant qu'un petit village composé d'une vingtaine de maisons et d'une centaine d'habitants.

Suivant une vieille tradition, « les tailleurs, assis dans leurs boutiques, à Dunwich, voyaient les vaisseaux dans la baie de Yarmouth. » Bien que la distance à laquelle la côte, au Lowestoff Ness, s'avance entre ces deux points, rende ce conte peu croyable, il n'en prouve pas moins combien les envahissements de la mer ont porté jadis les hommes à imagination vive à satisfaire leur goût pour le merveilleux.

La description de Gardner, relativement aux cimetières mis à découvert par les vagues, nous rap-

(*) Consequences of the Deluge, Phys. Theol. Discourses (Conséquences du Déluge, Discours Physico-théologiques).

Digitized by Google

pelle la scène si bien peinte par Bewick (*), et dont plusieurs points de la même côte pourraient avoir suggéré l'idée. Sur le bord d'une falaise minée par la mer, sont représentées la tour encore debout et l'extrémité occidentale d'une abbaye. L'aile orientale a disparu, et bientôt les piliers du cloître seront aussi détruits. Les vagues ont presque entièrement isolé le promontoire et envahi le cimetière, où, bouleversant les ossements humains qui s'y trouvaient, elles les ont dispersés, et ont apporté un crâne sur le rivage. Le premier plan du tableau laisse voir une tombe brisée, mais qui, ainsi que sa légende l'indique, avait été érigée « pour perpétuer la mémoire d'un homme dont le nom a disparu, comme celui du comté où il fut autrefois « Garde des archives. » On voit un cormoran perché sur le monument, qu'il souille d'immondices, comme si l'intention de Bewick eût été de rappeler la pensée de Hamlet, au sujet des « usages abjects » auxquels on peut faire servir les choses sacrées. Si cet excellent artiste eût voulu critiquer certaines théories géologiques populaires, il aurait pu consacrer l'inscription de la pierre à la mémoire du philosophe qui enseigna « la permanence des continents actuels » — « la pé-

(*) History of British Birds (Histoire des Oiseaux de la Grande-Bretagne), vol. II, p. 220, Ed. 1821.

Digitized by Google

riode de tranquillité » — « l'insuffisance des causes modernes. »

Les invasions de la mer étaient autrefois très destructives à Aldborough, bourg situé jadis à un quart de mille ($\frac{1}{12}$ de l.), à l'est du rivage actuel. Ses habitants continuèrent à étendre leurs constructions plus avant dans les terres, jusqu'à ce qu'ils arrivassent à l'extrémité de leurs propriétés ; la ville subit alors un ravage effroyable ; mais deux bancs de sable qui se sont formés à peu de distance présentent aujourd'hui une sauvegarde temporaire à la côte. Entre ces bancs et le rivage actuel, où le courant coule maintenant, la mer a vingt-quatre pieds (7m,30) de profondeur, à la place même qu'occupait la ville autrefois.

En continuant notre examen de la côte du Suffolkshire, nous remarquons, dans la direction du sud, que les falaises de Bawdsey et de Felixtow s'abaissent d'une manière continue. Il paraît, d'après les souvenirs de personnes encore vivantes, que l'Orwell se rendait autrefois à la mer en ligne plus directe qu'à présent, et qu'elle y entrait non au sud, comme de nos jours, mais au nord du banc peu élevé sur lequel Landguard Fort est bâti.

Essex. — Harwich doit, dit-on, son origine à la destruction d'Orwell, ville qui occupait l'empla-

Digitized by Google

cement aujourd'hui appelé « the west rocks, » et fut détruite par une invasion de la mer qui eut lieu depuis la Conquête. L'isthme sur lequel Harwich repose deviendra probablement une île d'ici à un demi-siècle ; car, dans cet espace de temps, la mer pourra avoir fait une brèche près de Lower Dover Court, où les falaises sont composées de couches horizontales d'argile de Londres renfermant des septaria. De 1829 à 1838, époques où je visitai cette côte, les falaises avaient éprouvé des ravages considérables. Dans ce court intervalle, plusieurs jardins et plusieurs maisons avaient été entraînés dans la mer, et en avril 1838, une rue entière fut menacée de destruction. L'empiètement de la mer se trouve extrêmement accéléré par suite du commerce que l'on fait des septaria, qui, à mesure qu'elles tombent sur le rivage, sont embarquées pour Harwich, où on les emploie à la fabrication d'un ciment. Elles deviennent après leur chute la propriété, non du seigneur foncier, mais du propriétaire du manoir. Si on laissait ces pierres amoncelées en tas sur le rivage, elles amortiraient la force des vagues et retarderaient ainsi la transformation de l'isthme en île, — événement qui pourra entraîner la destruction de la ville d'Harwich.

Parmi plusieurs autres pertes dues aux excursions de la mer, on cite un champ, connu sous le nom de

Google

« Champ du Vicaire », et appartenant à la cure d'Harwich, qui, depuis l'année 1807, a été englouti (*). On observait, en 1820, un espace considérable entre la mer et la batterie construite à Harwich, au commencement du siècle actuel; en 1829, une partie de la fortification avait été entraînée, et ce qui en restait menaçait ruine.

A Walton Naze, dans le même comté, les falaises d'argile de Londres, recouvertes par les sables coquilliers du crag, atteignent une hauteur de cent pieds (30^{m}) environ, et sont minées chaque année par les vagues. Enfin, le vieux cimetière de Walton a été entraîné, et les falaises méridionales subissent une destruction incessante.

Kentshire. — Ile de Sheppey. — La côte qui borde l'estuaire de la Tamise offre de nombreux exemples des pertes et des gains de la terre ferme. L'île de Sheppey, qui aujourd'hui a environ six milles (2 lieues) de long sur quatre (1 $\frac{1}{3}$ l.) de large, est composée d'argile de Londres, et les falaises septentrionales, dont la hauteur est de soixante à quatre-vingts pieds (18 à 24^{m}), se dégradent très rapidement : en vingt ans, de 1810 à 1830, elles ont perdu cinquante acres (20 hectares). A Minster,

(*) Ce fait est rapporté d'après le Dr Mitchell, membre de la Société Géologique.

Digitized by Google

l'église était, dit-on, dans le milieu de l'île en 1780; maintenant, elle se trouve près de la côte (*); et d'après la proportion actuelle de la dégradation, on a calculé que l'île entière serait détruite dans un demi-siècle à peu près. Sur la côte de la terre ferme, à l'est de Sheppey, on rencontre Herne Bay, qui conserve encore ce nom, quoique depuis longtemps il ne lui soit plus approprié, les vagues et les courants ayant détruit les anciens caps. Dans la ligne des hauts-fonds où l'on a construit la jetée actuelle, se trouvait autrefois un petit promontoire qui divisait la grande baie en deux parties, désignées sous les noms de Supérieure et d'Inférieure (**).

Plus loin encore vers l'est, on voit l'église de Reculver, sur une falaise d'argile et de sable, haute de vingt pieds (6m) environ. Au temps des Romains, Reculver (Regulvium) était une station militaire importante, qui, suivant Leland, se trouvait presque à un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) de la mer, à l'époque du règne d'Henry VIII. Le « *Gentleman's Magazine* » en donne une vue prise en 1781, qui représente encore un espace considérable entre le mur septentrional du cimetière et la falaise (***).

(*) C'est à W. Gunnel, Esq., que je suis redevable de ce renseignement.

(**) Ce fait est cité sur l'autorité de W. Richardson, Esq., membre de la Société Géologique.

(***) Vol. II, Nouvelle Série, 1809, p. 801.

Digitized by Google

Fig. 27.

Vue de l'église de Reculver, prise en 1781.

1. Ile de Sheppey.
2. Ancienne chapelle qui n'existe plus aujourd'hui. La cabane située entre la chapelle et la falaise a été détruite par la mer, en 1782.

Un peu avant 1780, les vagues avaient atteint l'emplacement occupé par l'ancien camp romain, ou fortification, dont les murs avaient continué à rester en surplomb au-dessus de la mer pendant plusieurs années après avoir été minés, tant le ciment qui avait servi à leur construction était solide. Ils se trouvaient à quatre-vingts mètres plus près de la mer que l'église, et ils sont signalés dans la « Topographica Britannica » de 1780, comme s'étant récemment écroulés. En 1804, une partie du cimetière fut entraînée, ainsi que quelques maisons voisines; et

l'ancienne église, avec ses deux hautes flèches, — signal utile aux marins et bien connu,—fut démantelée et abandonnée pour le culte. Elle est encore debout (1834), mais il est très probable qu'elle n'existerait plus, si la force des vagues n'eût été réprimée par une digue artificielle de pierres et de grands pilotis enfoncés dans les sables (*).

Fig. 28.

Église de Reculver, en 1834.

Ile de Thanet.—Dans le temps des Romains, l'île de Thanet était séparée du reste du Kentshire par un

(*) Dr Mitchell, Proceedings of. Geol. Soc., vol. II, N° 2.

Digitized by Google

canal navigable qui servait de passage aux flottes romaines pour aller à Londres et en revenir. Bede décrit ce petit estuaire comme ayant, au commencement du VIIIe siècle, trois stades de large; et l'on suppose que ce fut à peu près vers l'époque de la conquête de l'Angleterre par les Normands qu'il commença à diminuer de profondeur. En 1485, il s'était tellement envasé, que l'on obtint l'autorisation d'y bâtir un pont. Depuis, il a été converti en un terrain marécageux dans lequel circulent plusieurs petits courants. Sur la côte, la Ferme de Bedlam, appartenant à l'hôpital de ce nom, perdit, dans le cours des vingt années qui précédèrent 1830, huit acres (3 hectares environ) de terrain de craie, dont le niveau excédait de quarante à cinquante pieds (12 à 15^m) la surface de la mer. On a calculé que la dégradation moyenne de la falaise située entre le Nord Foreland et les Reculvers, sur une distance de onze milles (près de 4 l.) environ, est au moins de deux pieds (61^c) par an. De 1820 à 1830, les falaises de craie que l'on trouve au sud de Thanet, entre Ramsgate et Pegwell Bay, ont perdu, en moyenne, trois pieds (91^c) par an.

Sables de Goodwin. — Les sables de Goodwin s'observent à l'opposé de cette partie de la côte du Kentshire. Ils s'étendent sur un espace de dix

Digitized by Google

milles ($3\frac{1}{3}$ l.) de longueur environ, et leur distance du rivage est, en quelques points, de trois milles (1'), et en d'autres, de sept ($2\frac{1}{3}$ l.). A la basse mer, ils sont mis à découvert sur une certaine étendue. Ce qui porte à croire que ces sables sont un reste de quelque portion de terre ferme, et non « une simple accumulation formée par la mer, » comme Rennell le supposait (*), c'est que lorsqu'en 1817 il fut question d'ériger un phare sur ce haut-fond, aux frais du « Trinity-Board » (1), on reconnut à l'aide des forages que nécessita cette construction, que le banc consistait en une quinzaine de pieds de sable, reposant sur de l'argile bleue. Suivant une tradition confuse, qui s'est transmise jusqu'à nous, c'est là qu'étaient situées les terres du comte Goodwin, père d'Harold, qui mourut en 1053. On conjecture que ces terres furent emportées par l'inondation dont il est fait mention dans la « chronique saxonne, année 1099. » Quoi qu'il en soit, on peut admettre avec assez de probabilité que les derniers débris d'une île, consistant, comme celle de Sheppey, en argile, furent entraînés, vers ce temps-là, par la mer.

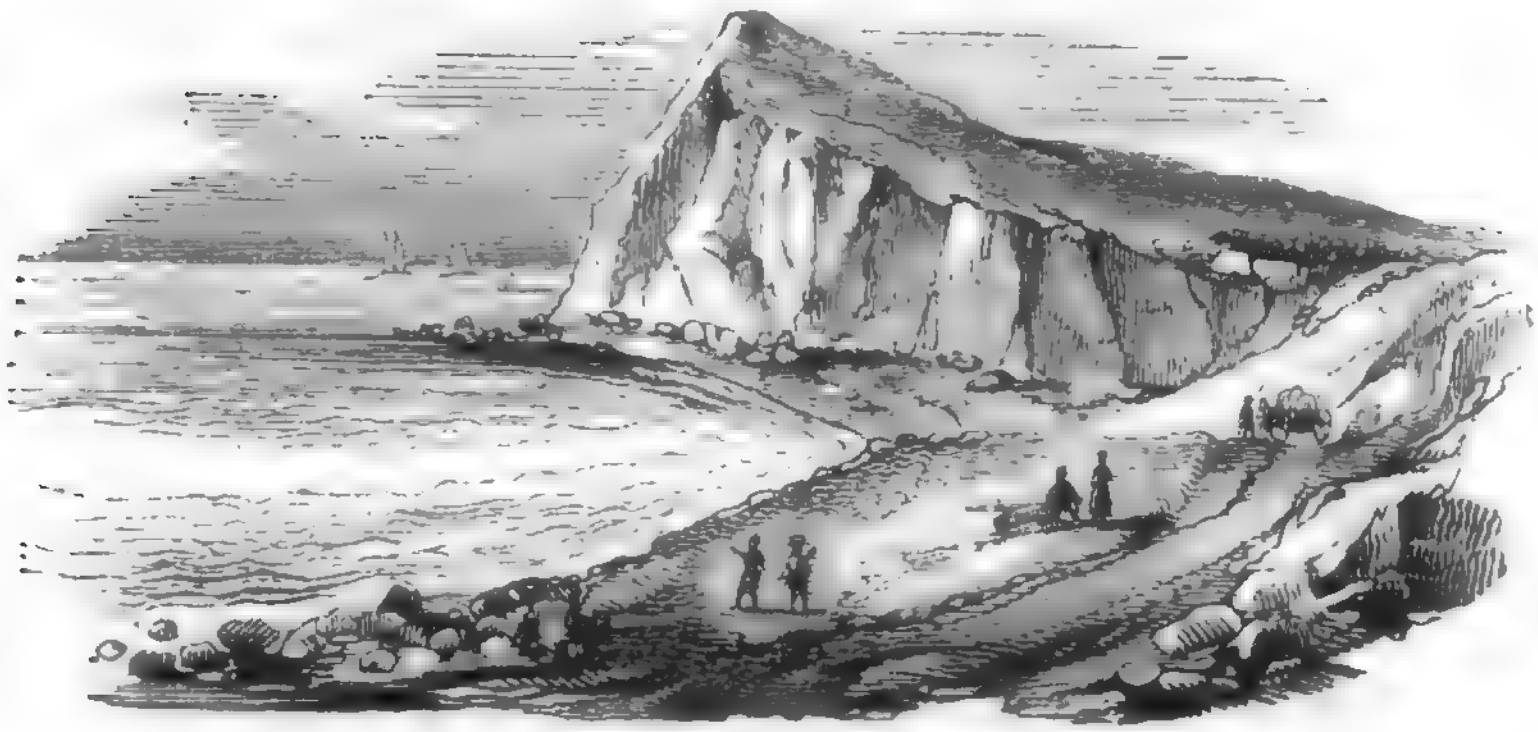
(*) Geog. d'Herod., vol. II, p. 326.

(1) Nom de la corporation qui, en Angleterre, préside à tout ce qui concerne les phares.

T. M.

Digitized by

Fig. 29.



Falaise de Shakspeare, vue du nord-est, 1836.

On cite encore d'autres exemples de dégradation dans le comté de Kent,—à Deal, et à Douvres principalement, où la falaise de Shakspeare, entièrement composée de craie, a beaucoup souffert, et diminue encore chaque jour de hauteur, la pente de la colline s'inclinant du côté de la terre ferme. (*Voyez fig.* 29.) En 1810, il se fit dans cette falaise un éboulement, par suite duquel la ville de Douvres fut ébranlée comme elle aurait pu l'être par un tremblement de terre. Un événement du même genre, mais bien plus considérable encore, avait eu lieu en 1772 (*). On peut donc supposer qu'en l'année 1600, époque où la tragédie du « Roi Léar »

(*) Dodsley's Annual Register (Registre annuel), 1772.

Digitized by

fut écrite, la vue que l'on découvrait du haut du précipice était plus « effrayante et plus propre à donner des vertiges » qu'elle ne l'est maintenant.

Pas-de-Calais. — En avançant depuis les parties septentrionales de la mer d'Allemagne jusqu'au Pas-de-Calais, l'eau devient de plus en plus basse : dans un espace de deux cents lieues environ, elle passe successivement de la profondeur de cent vingt brasses à celle de cinquante-huit, de trente-huit, de dix-huit, et même de moins de deux brasses. La partie la plus basse suit la ligne que l'on peut concevoir entre Romney Marsh et Boulogne. Depuis ce point, la Manche va en s'approfondissant de nouveau et progressivement vers l'ouest, de sorte que l'on peut dire que le Pas-de-Calais sépare deux mers (*).

La question de savoir si l'Angleterre était autrefois réunie à la France a été bien souvent agitée. Dès l'année 1605, Verstegan, notre compatriote, observa, dans ses « Antiquités de la Nation Anglaise, » que plusieurs auteurs avaient émis cette opinion, mais sans l'appuyer de raisons suffisantes. Quant à lui, il cherche à la confirmer par divers

(*) Stevenson, Ed. Phil. Journ., n° 5 p. 45, et le Dr Fitton, Geol. Trans., Seconde Série, vol. IV, planche 9.

arguments, dont les principaux sont : 1° la proximité et l'identité de constitution des falaises et des rivages opposés de la Grande-Bretagne et de la France, qui, soit plats et sableux, soit escarpés et crayeux, correspondent exactement entre eux ; 2° l'existence d'une chaîne sous-marine désignée sous le nom de « Sables de Notre-Dame » et qui, s'étendant d'un rivage à l'autre à peu de profondeur, paraît, d'après sa composition, être la base originaire de l'isthme ; 3° l'identité, dans les deux pays, des animaux nuisibles qui n'ont pu traverser la mer à la nage, ni être introduits par l'homme. « Personne, » dit Verstegan, « n'eût voulu importer des loups ; donc ces animaux féroces ont dû faire d'eux-mêmes le trajet. »

Il suppose que l'ancien isthme avait six milles anglais (2 lieues) de largeur, qu'il était entièrement composé de craie et de silex, et qu'en quelques points, sa hauteur ne dépassait pas de beaucoup le niveau de la mer. Il ne prétend pas décider si la première brèche fut faite par un tremblement de terre, et agrandie ensuite par l'action des vagues ; — ou si elle fut creusée par l'homme, dans le but de pratiquer un passage commode, ou de se créer par là un moyen de défense ; — ou, enfin, si elle fut occasionnée par les empiètements graduels de la mer, dont il suppose que le niveau était plus élevé, et

le courant plus fort du côté nord-est que du côté occidental de l'isthme.

Cuvier rapporte qu'en 1753 (un siècle et demi plus tard), cette question fut proposée par une société savante, à Amiens, comme sujet d'un prix que remporta, dans sa jeunesse, le célèbre Desmarets. A cette occasion, M. Page a remarqué, dans un mémoire publié depuis peu, que Desmarets avait emprunté tous ses arguments à Verstegan. En effet, non seulement ils sont les mêmes, mais ils se trouvent présentés exactement dans le même ordre (*).

Quand on considère l'état des sciences physiques au commencement du dix-septième siècle, on ne peut trop admirer l'esprit philosophique et pénétrant avec lequel Verstegan soutint son argumentation. L'action des vagues et des marées, dit-il, devait être plus puissante quand le détroit avait moins de largeur qu'il n'en a aujourd'hui, bien que cette action destructive s'exerce encore maintenant sur des falaises composées des mêmes matières. Il admet aussi que des tremblements de terre ont pu contribuer à séparer la France de l'Angleterre. J'ajouterai que les indications géologiques que l'on observe

(*) Voyez le mémoire lu par M. Page à la Soc. Lit. et Phil. de St.-Andrews (Fife Journal), 17 Janvier 1839, et l'Éloge de Desmarest par Cuvier.

à la base des falaises, près de Douvres et de Brighton, prouvent qu'il y a eu oscillation dans le niveau relatif de la mer et de la terre ferme à une époque très moderne. On y voit que la craie elle-même, ce dépôt d'origine marine, a été déprimée de soixante pieds environ (18^{m}) depuis sa première émersion de l'Océan, et que les falaises actuelles ne sont pas les premières qui aient subi l'action destructive des vagues. Il se peut que ces mouvements, et d'autres encore dirigés de bas en haut, et de haut en bas, se soient produits aussi lentement que ceux qui s'opèrent aujourd'hui en Suède et dans le Groenland, et tout porte à croire qu'ils ont beaucoup ajouté à l'action dénudante du « courant de l'Océan. »

Ποταμοιο μεγα σθενος Ωκεανοιο.

Folkstone. — A Folkstone, les vagues minent la craie et les couches sous-jacentes. Vers l'année 1716, une étendue de terre voisine de la mer éprouva une telle dépression, que plusieurs maisons devinrent visibles de certains points en mer, et de certaines parties des falaises maritimes d'où on ne pouvait les apercevoir auparavant. Dans la description de cet affaissement, donnée par les *Transactions philosophiques* de l'année 1716, il est dit que « la terre ferme consistait en une masse solide pierreuse (la craie) reposant sur une argile humide (le gault),

Digitized

de sorte qu'elle a glissé vers la mer, exactement comme un vaisseau qui est lancé à la mer sur des madriers enduits de suif. » Il a été constaté aussi que de mémoire de personnes vivant à l'époque dont nous parlons, la falaise, à Folkstone, avait été emportée sur une étendue de dix perches carrées (253 mètres carrés).

A Hythe, on a cité également plusieurs empiètements de la mer; mais entre ce point et Rye, il y a eu, depuis la période historique, une augmentation sensible de terre ferme; car la riche plaine formée de vase et désignée sous le nom de Romney Marsh (marais de Romney), ou Dungeness, qui s'étend sur un espace de dix milles (3 ½ l.) de long sur cinq (1 ¾ l.) de large, a reçu un accroissement considérable. Toutefois il a été nécessaire, dès les temps les plus anciens, de la protéger contre l'envahissement de la mer par des digues, les villes de Lydd et de Romney étant les seules parties du marais qui se trouvent au-dessus du niveau des plus hautes marées (*). Ces accroissements de terre ferme ont eu lieu exactement à l'opposé de cette partie de la Manche où les flots de marée contraires, c'est-à-dire, celui qui vient du nord et celui qui vient du sud, se rencontrent. Celui du nord étant, par des

(*) Ces détails sont dûs à M. J. Meryon de Rye.

Digitized by Google

causes que nous avons déjà expliquées, plus puissant que l'autre, ils ne se neutralisent mutuellement que lorsqu'ils arrivent à cette distance du Pas-de-Calais, où une partie des matières entraînées de l'ouest à l'est, le long des rivages du Sussexshire et du Kentshire, trouvent enfin un point d'arrêt.

Rye, située au sud du marais de Romney, fut jadis emportée par la mer; mais depuis elle a été rebâtie, et se trouve aujourd'hui à deux milles ($\frac{2}{3}$ de l.) du rivage. Sous le règne d'Edouard Ier, la ville voisine de Winchelsea fut détruite, l'embouchure du Rother se combla, et la rivière se fraya une nouvelle route dans un autre lit. On a retrouvé récemment dans son premier canal un ancien vaisseau qui, suivant toute apparence, était un bâtiment marchand hollandais. Il était construit entièrement en chêne, et noirci sur presque toute sa surface (*). Enfin, on trouve, en creusant dans le marais de Romney, de grandes quantités de tourbe, de bois, et de noisettes.

Côte méridionale d'Angleterre. — Passant rapidement sur quelques points voisins de Hastings, où les falaises ont subi une dégradation considérable à plusieurs époques, nous arrivons au promontoire

(*) Edin. Journ. of Sci., N° XIX, p. 56.

de Beachy Head. Là, en 1813, une masse de craie de trois cents pieds (plus de 80^{m}) de long, sur soixante-dix à quatre-vingts (21 à 24^{m}) de large, tomba en donnant lieu à un effroyable craquement, et depuis, plusieurs autres éboulements semblables ont été souvent produits (*).

A un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) environ, à l'ouest de Newhaven, on voit sur le sommet de Castle-Hill les restes d'un ancien retranchement. Cet ouvrage, que l'on attribue aux Romains, était évidemment, jadis, d'une grande étendue et de forme ovale; mais la plus grande partie en a été emportée par la mer. Les falaises, minées en cet endroit, sont très hautes, une masse de craie de plus de cent pieds (30^{m}) de puissance s'y trouvant recouverte par une argile et un sable tertiaires de soixante à soixante-dix pieds (21^{m}) d'épaisseur. Dans peu de siècles les derniers vestiges de la formation de l'argile plastique qui limite vers le sud la craie des Dunes Méridionales de cette côte, seront anéantis, et ce n'est que par des documents historiques que les géologues futurs pourront connaître les anciennes bornes géographiques de ce groupe de strates dans cette direction. Sur le bord opposé de l'estuaire de l'Ouze, à l'est du port de

(*) Webster, Geol. Trans., vol. II, p. 192, première série.

Digitized by Google

Newhaven, un lit de silex de la craie, provenant de la dégradation des falaises voisines, et qui s'était accumulé en plusieurs siècles à Seaford, fut entièrement emporté lors du violent orage de novembre 1824, qui causa aussi l'inondation de cette ville. Un autre grand banc de galets est actuellement en voie de se former avec des matières nouvelles.

Toute la côte du Sussexshire a, de temps immémorial, subi des envahissements incessants de la part de la mer; et, bien que l'histoire ne fasse mention que d'inondations subites qui détruisirent quelques portions de terre cultivées ou habitées, les mémoires du temps attestent des pertes extraordinaires Dans un espace de quatre-vingts ans seulement, on a compté environ *vingt* irruptions de la mer, pendant lesquelles des étendues de terre de vingt à *quatre cents acres* (de 8 à 162^{hect}) ont été entraînées à la fois; la valeur de la dîme qui portait sur ces terres se trouve mentionnée par Nicholas, dans sa «Taxatio Ecclesiastica» (*). Sous le règne d'Élisabeth, la ville de Brighton était située sur la jetée suspendue qui aujourd'hui s'avance dans la mer, et en 1665, vingt-deux maisons furent détruites sous la falaise; à cette époque il en restait encore cent treize, qui toutes fu-

(*) Mantell, Geology of Sussex (Géologie du Sussexshire), p. 293.

Digitized by Google

rent emportées en 1703 et 1705. Bien que l'on ne retrouve plus aujourd'hui aucune trace de l'ancienne ville, on voit bien cependant que la mer n'a fait que reprendre sa première position à la base des falaises, la place qu'occupait l'ancienne ville n'étant simplement qu'un rivage abandonné par l'Océan pendant plusieurs siècles.

Hampshire. — Ile de Wight. — Il serait trop long de citer toutes les localités où, sur les côtes du Sussexshire et du Hampshire, la terre ferme a été envahie par la mer ; mais je ne puis passer sous silence le rapport qui existe entre la structure géologique de l'île de Wight et sa forme actuelle, car il prouve que la côte doit sa configuration à l'action continue de la mer. Le milieu de l'île est traversé par une haute chaîne de strates de craie dont la position est verticale, et la direction est et ouest. Le cap Culver Cliff, à l'est, et celui des Aiguilles, à l'ouest, en sont également formés ; tandis que Sandown Bay d'un côté, et Compton Bay de l'autre, ont été creusées dans les sables friables et les strates argileuses qui sont inférieurs à la craie.

Les mêmes phénomènes se reproduisent dans la presqu'île de Purbeck, où la ligne de craie verticale forme le cap proéminent de Handfast Point, et où Swanage Bay indique l'excavation profonde faite par

Digitized

les vagues dans les strates tendres, correspondant à celles de Sandown Bay.

Banc de Hurst Castle.— Mouvement progressif des rivages de la mer. — Quoique les cailloux et les sables non agglutinés dont se compose toute ligne de côte, soient portés tantôt d'un côté et tantôt d'un autre, ils n'en sont pas moins soumis, en définitive, à un mouvement général qui les entraîne dans une direction particulière (*). Celle qu'ils suivent, par exemple, sur la côte méridionale de l'Angleterre, est de l'ouest à l'est, ce qui est dû en partie à l'action des vagues que le vent dominant pousse vers l'est, et en partie au courant, ou au mouvement de la masse des eaux occasionné par les marées et par les vents. La force des vagues déplace des cailloux que la rapidité des courants ne pourrait seule faire avancer; mais comme, par suite du frottement continuel auquel ils se trouvent exposés, ces cailloux finissent par être réduits à l'état de sable ou de limon, ils sont alors soumis à l'action des courants, et cette cause doit déterminer la direction que prend accidentellement la masse principale des matières provenant de la dégradation des falaises.

(*) Voyez Palmer, on Shingle Beaches (sur les Bancs de Galets), Phil. Trans., 1834, p. 568.

Digitized by Google

Il paraît, d'après les observations de M. Palmer et de plusieurs autres, que si l'on érige une jetée ou un « épi » sur quelque point de la côte sud ou sud-est d'Angleterre, pour arrêter les progrès du rivage, un amas de galets se forme bientôt sur le côté occidental de ces barrières artificielles. Les cailloux continuent à s'accumuler jusqu'à ce qu'ils aient atteint le sommet de la jetée ou épi, puis retombent par masses, lorsque surviennent de grands vents (*).

L'entrée occidentale de la Manche, qu'on désigne sous le nom de Solent, est traversée, sur les deux tiers de sa largeur au moins, par le banc de galets de Hurst Castle, qui a environ soixante-dix mètres de large sur quatre de haut, et présente, vers l'ouest, un plan incliné. Cette barre singulière consiste en un lit de silex de la craie arrondis, reposant sur une base argileuse sous-marine. Les silex, et un petit nombre de fragments d'autres roches qui les accompagnent, proviennent exclusivement de la dégradation de Hordwell et de quelques autres falaises plus occidentales, où des strates tertiaires, couvertes à leur partie supérieure de silex brisés de la craie, et ayant de cinq à cinquante pieds (1m ½

(*) Les « épis » sont formés de piles et de planches, ou de fagots posés debout ; et ils servent soit à opposer un obstacle à l'impétuosité des vagues, soit à retenir les bords du rivage.

Digitized by Google

à 15^{m}) d'épaisseur, éprouvent une destruction rapide. Pendant le grand orage de novembre 1824, ce banc de galets fut déplacé en masse : il s'avança de quarante mètres dans la direction du nord-est ; et certaines piles qui servaient à marquer les limites de deux propriétés furent trouvées, après l'orage, du côté opposé de la barre. Par suite du même orage, plusieurs acres de pâturages, appartenant à la ferme de Westover, près de Lymington, furent entièrement couverts de galets.

Les falaises situées entre Hurst Shingle Bar et Christchurch sont exposées à une dégradation incessante ; et d'après le témoignage de personnes qui existent encore, il a fallu reculer, par trois fois, dans l'intérieur des terres, le chemin qui longe le rivage. Il est donc très vraisemblable que l'église de Hordwell se trouvait jadis, ainsi que le rapporte la tradition, au milieu de cette paroisse, bien qu'actuellement elle soit très voisine de la mer. Le cap de Christchurch, qui, entre Lymington et Poole Harbour, dans le Dorsetshire, est le seul point des falaises où l'on rencontre quelques masses dures de pierres, est miné lentement. C'est probablement à la résistance qu'ont présentée en ce point cinq lits de concrétions ferrugineuses, offrant quelque ressemblance avec les septaria de l'argile de Londres, que doit être attribuée la formation de ce

Digitized by Google

promontoire. En même temps, les vagues ont creusé jusqu'à une très grande profondeur les sables friables et la marne de Poole Bay; puis, de fortes gelées déterminèrent des éboulements considérables qui, peu à peu, donnèrent lieu à la formation d'étroits ravins, à pentes verticales, et descendant à la mer. On en remarque un, près de Boscomb, qui a été creusé de vingt pieds (6^{m}) en peu d'années. A la partie supérieure de chacun de ces ravins coule une source dont les eaux ont puissamment contribué à la production de ces étroites excavations, qui ont quelquefois de cent à cent cinquante pieds (30 à 45^{m}) de profondeur.

Ile de Portland. — La presqu'île de Purbeck et l'île de Portland subissent une dégradation incessante. Dans cette dernière, la couche argileuse tendre, connue sous le nom d'argile de Kimmeridge, hâte la destruction de la masse supérieure de calcaire.

En 1665, les falaises avoisinant les carrières principales de Portland s'écroulèrent sur un espace de cent mètres, et tombèrent dans la mer; puis, en décembre, 1734, un autre éboulement eut lieu du côté oriental de l'île, sur une étendue de cent cinquante mètres, et mit à découvert plusieurs squelettes placés entre des dalles de pierre. En 1792, un événement du même genre, mais plus extraordinaire

by Google

encore, et occasionné sans doute par le creusement des falaises, se trouve ainsi décrit dans l'Histoire du Dorsetshire de Hutchins : — « Dès le matin, on remarqua qu'il se formait des crevasses sur la route; puis, en peu de temps, ce phénomène augmenta tellement d'intensité qu'avant deux heures le sol avait subi un affaissement de plusieurs pieds; le mouvement était continu, mais on n'entendait d'autre bruit que celui qu'occasionnait la séparation des racines et des broussailles, et, de temps en temps, la chute de quelque roche. A la nuit, il sembla cesser, mais il se manifesta bientôt avec une nouvelle force, et avant le matin du jour suivant, le sol, à partir du sommet de la falaise jusqu'au bord de l'eau, se trouva abaissé perpendiculairement de cinquante pieds (15^{m},24) en plusieurs endroits. L'étendue du terrain sur lequel se produisait le mouvement était *d'un mille et un quart* (un peu moins de $\frac{1}{2}$ lieue) environ, dans la direction nord-sud, et de six cents mètres de l'est à l'ouest.

Formation du Chesil Bank. — L'île de Portland est unie au continent de l'Angleterre par le Chesil Bank, qui consiste en un amas de galets, de dix-sept milles (6') de longueur environ, et d'un quart de mille ($\frac{1}{12}$ de lieue) de large en beaucoup de points. Les galets dont se compose cette immense barrière sont

Digitized by Google

principalement siliceux et se trouvent entassés les uns sur les autres, sans adhérer ensemble; ils s'élèvent à la hauteur de vingt à trente pieds (6 à 9m) au-dessus de la marque ordinaire des grandes eaux, dans la partie la plus rapprochée de l'île de Portland. La roche sur laquelle reposent les galets se trouve à la profondeur de quelques mètres seulement au-dessous du niveau de la mer. L'origine de cette portion de la barre qui joint l'île de Portland à la terre ferme peut être attribuée soit à un haut-fond ou récif, soit à l'action des marées dans un canal aussi étroit, — circonstance par suite de laquelle la marche des galets, qui viennent toujours de l'ouest, est interrompue. Il est à remarquer que, dans toute l'étendue du Chesil Bank, les cailloux diminuent graduellement de grosseur à mesure que l'on avance vers l'ouest ou que l'on se rapproche du point d'où ils proviennent. Si le contraire avait lieu, on l'attribuerait naturellement à l'usure des galets résultant du frottement qu'ils éprouvent en parcourant un rivage de dix-sept milles (6l) d'étendue. On doit supposer que la vitesse des vagues, due à l'influence combinée des vents et des marées, augmente graduellement du nord-ouest au sud-est, c'est-à-dire dans la direction du rivage; et dans ce cas, l'endroit où le mouvement de l'eau aurait été le plus violent se-

Digitized by Google

rait celui où le volume des masses venant de l'ouest et jetées sur la côte serait le plus considérable. Le colonel Reid prétend que tous les fragments de roche calcaire roulés, venant de l'ouest, sont bientôt broyés et réduits à l'état de sable, et que c'est sous cette forme qu'ils font le tour de l'île de Portland (*).

En 1824, un orage effroyable éclata sur le Chesil Bank; le village de Chesilton, bâti sur son extrémité méridionale, fut détruit, ainsi qu'un grand nombre de ses habitants. A Plymouth, ce même orage entraîna une partie de la jetée, et d'énormes masses de roche, du poids de deux à cinq tonneaux, furent arrachées du fond, du côté du vent, et roulèrent jusqu'au sommet de la construction. Un bloc de calcaire pesant sept tonneaux fut enlevé de l'extrémité occidentale de la jetée, et transporté à cent cinquante pieds (45^{m} environ) de distance (**). Ce fut aussi dans le même mois, et au moment de la haute mer, qu'eut lieu, en 1099, une inondation considérable sur les

(*) Voyez ce qu'ont écrit Palmer et le colonel Reid sur le Déplacement des Bancs de Galets : « on Motion of Shingle Beaches », le premier, dans les Trans. Phil. de 1834, p. 568; et l'autre, dans les Mémoires spéciaux des Officiers du Génie « Professional Papers of Royal Engineers, » 1838, vol. II, p. 123.

(**) De la Bèche, Geol. Man. (Manuel de Géologie), p. 75.

Digitized by Google

côtes d'Angleterre. Florence de Worcester dit à ce sujet : « Le troisième jour des nones de novembre, 1099, la mer s'avança sur le rivâge, et engloutit un grand nombre de villes et d'habitants, sans compter une immense quantité de bœufs et de moutons. » On trouve aussi dans la Chronique Saxonne, déjà citée, pour l'an 1099, que « le 11 novembre de cette même année, pendant la messe du jour de la St-Martin, la mer monta si haut, par l'effet de la marée, et occasionna de si grands ravages, que, de mémoire d'homme, on ne se rappelait avoir vu un désastre pareil ; c'était le jour néfaste de la nouvelle lune. »

Dorsetshire. — Devonshire. — A Lyme Regis, dans le Dorsetshire, les « Church Cliffs » (nom que l'on donne à certaines falaises, dans cette localité), qui appartiennent au lias, et s'élèvent à la hauteur de cent pieds (30^{m},48) environ, ont perdu, par l'effet de la dégradation, un mètre par année, depuis 1800 (*).

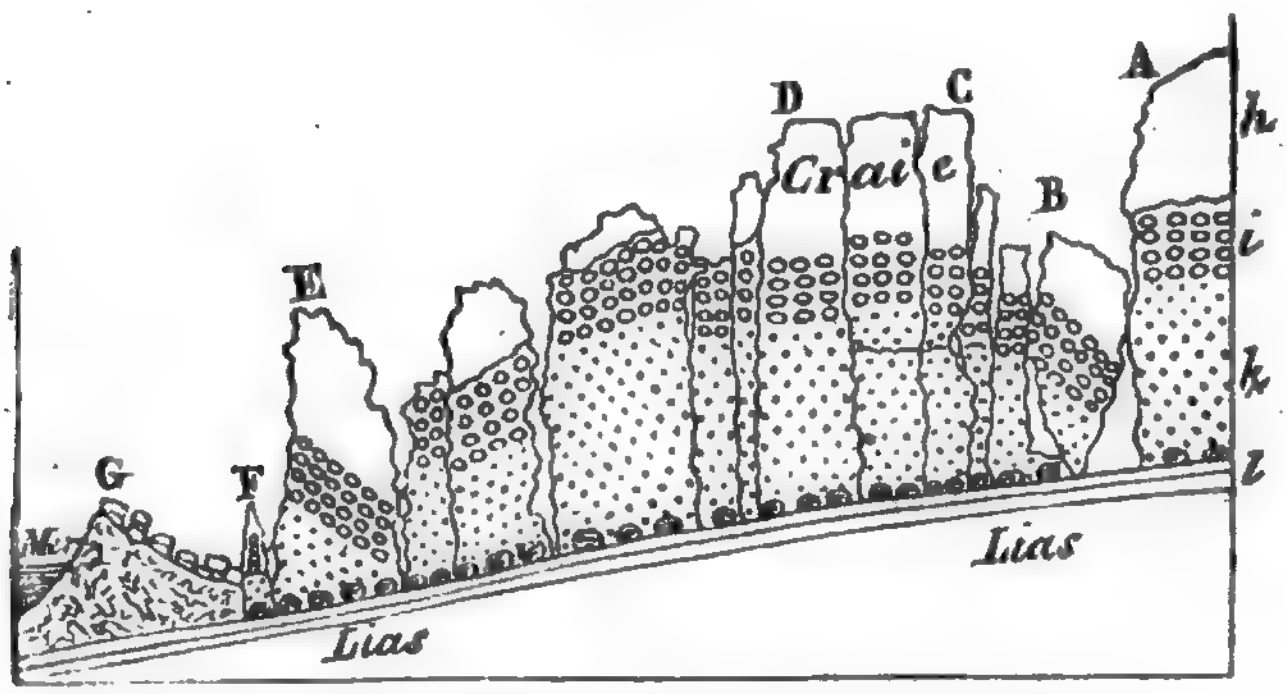
Un éboulement considérable eut lieu le 24 décembre 1839, sur la côte, entre Lyme Regis et Axmouth. Il a été décrit par le Rev. W. D. Conybeare, à qui je dois la communication des cir-

(*) Ce terrain fut mesuré par le Dr Carpenter, de Lyme, en 1800, puis, en 1829, ainsi que j'en ai été informé par miss Mary Anning, de Lyme, bien connue par les diverses découvertes qu'elle a faites de débris fossiles.

Digitized by Google

constances dont il a été accompagné. La ligne de dunes qu'on observe le long de la côte est recouverte à son sommet par la craie (*h*, fig. 30) qui repose sur des grès, alternant avec le *silex nuageux* «chert» (*i*),

Fig. 30.



Eboulement, près d'Axmouth, Déc. 1839. (Rev. W. D. Conybeare.)

A. Étendue des dunes qui conservent encore leur niveau primitif.

B. Nouveau ravin.

C, D. Bande abaissée et fracturée qui, avant le mouvement du sol, était unie à A.

D, E. Falaise éboulée de Bendon, offrant la même apparence qu'avant le mouvement, mais plus fissurée, et plus près de la mer, de cinquante pieds (15m,24) environ.

F. Crag pyramidal qui, de soixante-dix pieds (21m,33) de hauteur qu'il avait avant l'éboulement, a été abaissé à vingt pieds (6m).

G. Nouveau récif élevé du fond de la mer.

au-dessous duquel se trouvent plus de cent pieds

(30m,48) de sable non agglutiné (*k*), contenant des concrétions, dans la partie inférieure, et appartenant, comme le chert *i*, à la formation du grès vert. La totalité de ces masses *h*, *i*, *k*, repose sur des lits imperméables d'argile (*l*), qui font partie du lias, et s'inclinent vers la mer. De nombreuses sources sortant du sable (*k*) en ont graduellement entraîné quelques portions; elles ont ainsi miné la couche supérieure, et donné lieu jadis à divers affaissements, et à la production d'une ligne de falaises éboulées, entre D et E. En 1839, toutes les roches étant pénétrées d'humidité par suite de pluies continues, le poids de la masse supérieure dont la base avait déjà été minée par l'action des sources se trouva augmenté. Les couches supérieures se précipitèrent dans des cavités qui s'étaient formées, et les masses adjacentes de roches partiellement dégradées auxquelles ce mouvement fut communiqué, glissèrent vers la mer, sur une couche friable de sable humide. Le mouvement commença le 24 décembre, au matin, avec un bruit analogue à celui qu'occasionnent de forts craquements. Le soir du même jour, le sol se fissura, les murs des maisons furent brisés et s'affaissèrent, et il se forma, sur une étendue de près de trois quarts de mille ($\frac{1}{4}$ de l.), une ouverture, ou plutôt un ravin représenté en B, de 100 à 150 pieds

Digitized by Google

(30 à 45^{m}) de profondeur, sur plus de 240 pieds (73^{m}) de large. Au fond de ce gouffre, des fragments provenant des roches supérieures sont amoncelés dans l'état de confusion le plus pittoresque. Par suite des mouvements qui eurent lieu latéralement, l'espace intermédiaire entre la nouvelle fissure et la mer, et qui comprend l'ancienne falaise éboulée, a été fracturé; de plus, toute la ligne de falaise maritime a été transportée, en masse, de plusieurs mètres en avant. « Un rocher, F, remarquable par sa forme pyramidale, et qui, situé à la hauteur de Culverhole Point, formait, il n'y a pas longtemps encore, un signal, visible de très loin, a subi un abaissement considérable : son élévation, de soixante-dix pieds (21^{m},33) à l'origine, fut réduite à vingt (6^{m}). Enfin, la falaise principale, E, qui, auparavant, était à plus de cinquante pieds (15^{m},24) de ce roc isolé, en a été rapprochée au point qu'elle le touche presque aujourd'hui. Ce mouvement de la falaise maritime a produit un autre effet qu'on peut considérer comme un des phénomènes les plus frappants de cette catastrophe. La pression latérale des roches descendantes a forcé les couches voisines qui s'étendent au-dessous du galet du rivage, par suite de leur état de condensation excessive, à éclater vers le haut, et suivant une ligne parallèle à la côte. C'est ainsi qu'une crête, G, de plus d'un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) de

Digitized by Google

longueur, et de plus de quarante pieds (12m) de hauteur, couverte de débris de strates et d'énormes blocs de rochers, revêtue de plantes marines, de coralines, et parsemée de coquilles, d'étoiles de mer, et de diverses autres productions de l'Océan, forme un vaste récif, vis-à-vis de la ligne actuelle de falaises (*). »

Cornouailles. — Près de Penzance, dans le Cornouailles, il existe une langue de terre proéminente, formée de sable granitique, et appelée le « Green. » Plus de trente acres (12 hectares) de terre à pâturages en ont été graduellement enlevés, dans le cours des deux ou trois siècles derniers (**). On prétend aussi que St.-Michael's Mount, qui, aujourd'hui, est un rocher isolé, était situé jadis dans un bois éloigné de plusieurs milles de la mer. Son ancien nom, originaire du dialecte autrefois en usage dans le Cornouailles (Caraclowse in Cowse), veut dire, suivant Carew, la « Roche Blanche dans le Bois (***). » Entre le Mount et Newlyn, on voit sous le sable une terre noire végétale, remplie de noisettes, ainsi

(*) Rev. W. D. Conybeare, lettre datée d'Axminster, 31 décembre 1839.

(**) Boase, Trans Royal Geol. Soc. of Cornwall (Transactions de la Société Royale Géologique du Cornouailles), vol. II, p. 129.

(***) Id., p. 135.

que de branches, de feuilles, de racines et de troncs d'arbres, appartenant tous à des espèces indigènes. Cette couche a été suivie vers la mer aussi loin que le jusant le permet, et, selon M. de La Bèche, beaucoup de preuves qui attestent la submersion d'une étendue de terre couverte de végétaux, et de troncs d'arbres occupant encore la position dans laquelle ils vécurent, ont été découvertes près des rivages du Devonshire, du Cornouailles et du Somersetshire occidental. Les faits observés indiquent non seulement un changement dans le niveau relatif de la mer et de la terre ferme, depuis l'époque où les espèces d'animaux et de plantes qui vivent actuellement dans ce district, commencèrent à s'y développer, mais ils prouvent aussi que la submersion s'est effectuée, au moins en partie, depuis que le pays est habité par l'espèce humaine (*).

M. L. Horner a décrit, en 1815, une forêt sous-marine qui se trouve à l'embouchure du Parret, dans le Somersetshire, à la partie méridionale du Canal de Bristol, et il a attribué sa position à la dépression du sol. On observe en ce point un lit de tourbe dont le niveau est inférieur à celui de la mer, et des troncs de grands arbres, tels que des chênes et des

(*) De La Bèche's Report on the Geology of Devon, etc. (Mémoire sur la Géologie du Devonshire, par de La Bèche), ch. XIII.

Digitized by Google

ifs, dont les racines qui se trouvent fixées dans l'argile bleue sont encore divergentes comme au moment de leur développement (*).

Traditions relatives à des envahissements de la mer dans le Cornouailles. — Les historiens les plus anciens font mention d'une tradition célèbre dans les fastes du Cornouailles, relative à la submersion du Lionness, pays qui autrefois se serait étendu depuis le cap Land's-End jusqu'aux Iles Sorlingues. S'il est vrai que cette contrée ait existé, elle devait avoir trente milles (près de 11[l]) de long, sur dix (3 l. ½ env.) de large. La mer qui occupe aujourd'hui cet espace a trois cents pieds (91[m],44) environ de profondeur, et les terres qui le bordent ne s'élèvent pas à moins de deux ou trois cents pieds (61 à 91[m]). Bien que cette tradition romanesque ne repose sur aucun témoignage positif, il n'en est pas moins probable qu'elle doit son origine à quelque catastrophe occasionnée par d'anciens empiétements de l'Atlantique, auxquels une dépression du sol, sur cette côte, aurait pu donner lieu (**).

Côte occidentale d'Angleterre. — Après avoir

(*) Geol. Trans., 1re série, vol. III, p. 383.

(**) Boase, Trans. Royal Geol. Soc. of Cornwall, vol. II, p. 130.

Digitized by Google

réuni un aussi grand nombre de faits qui témoignent de l'action destructive des vagues, des marées et des courants sur les rivages orientaux et méridionaux de l'Angleterre, il devient inutile d'entrer dans de longs détails au sujet des changements qui se sont produits sur la côte occidentale; car il ne font que présenter, mais en général, sur une plus petite échelle, la répétition des mêmes phénomènes. Ainsi, les plaines du Somersetshire et du Glocestershire qui bordent l'estuaire de la Saverne ont acquis un accroissement considérable, tandis que d'un autre côté, les rivages du Cheshire, entre la Mersey et la Dee, ont perdu, depuis l'année 1764, quelques centaines de mètres, on dit même plus d'un demi-mille, par l'envahissement de la mer sur les falaises abruptes de marnes et d'argile rouge qui bordent la côte. Depuis l'époque dont nous venons de parler, plusieurs phares ont été successivement abandonnés (*), et quelques traditions en crédit dans le Pembrokeshire (**) et dans le Cardiganshire (***), font mention de pertes de terrain bien plus grandes encore que celle dont on prétend que la fable du Lion-

(*) Stevenson, Jameson's Ed. New Phil. Journ. (Nouveau Journal Philosophique d'Edimbourg, publié par Jameson), N° 8, p. 386.

(**) Camden, qui cite Gyraldus; voir aussi le Discours physico-théologique de Ray « sur le Déluge, » p. 228.

(***) Meyrick's Cardigan (Le Cardiganshire, par Meyrick).

Digitized by Google

ness, dans le Cornouailles, nous conserve la tradition. Quoi qu'il en soit, ces récits ne laissent pas que d'avoir un intérêt réel en ce qu'ils prouvent que les invasions de la mer étaient un phénomène bien connu des premiers habitants de ces contrées.

Empiétements de la mer sur les côtes de France. — Les côtes de France, et particulièrement celle de la Bretagne, où les marées s'élèvent à une hauteur extraordinaire, sont constamment envahies par les vagues. On prétend que dans le IXe siècle, plusieurs villages et plusieurs bois furent entraînés, et que la côte subit de grands changements, par suite desquels la colline St.-Michel fut détachée du continent. La commune de Bourgneuf, et plusieurs autres, dans le voisinage, furent inondées en l'année 1500; et en 1735, pendant un violent orage, on aperçut les ruines de Palnel à découvert dans la mer (*).

(*) Von Hoff, Geschichte, etc., vol. I, p. 49.

CHAPITRE VIII.

ACTION DES MARÉES ET DES COURANTS. — *Suite.*

Empiétement de la mer sur le delta du Rhin, en Hollande. — Changements survenus dans la direction des bras du Rhin. — Formation de l'Estuaire du Bies Bosch, en 1421, et du Zuyder-Zée, dans le XIIIe siècle. — Destruction de plusieurs îles. — Transformation du delta de l'Ems en baie. — Formation de l'Estuaire du Dollart. — Invasion de la mer sur la côte du Sleswig, et sur les rivages de l'Amérique du Nord.—Flot de marée désigné sous le nom de « Barre, » « Bore, » ou « Mascaret. » — Influence des marées et des courants sur le niveau moyen des mers. — Action des courants dans les mers et les lacs intérieurs. — Mer Baltique. — Déluge Cimbrien. — Détroit de Gibraltar. — De la non-existence d'un sous-courant dans ce détroit. — Examen de la question de savoir si le sel est précipité dans la Méditerranée. — Dégradation des rivages de cette mer.

Invasions de la mer aux embouchures du Rhin. — La ligne de côte des Iles Britanniques dont l'examen a fait en grande partie l'objet du chapitre précédent, n'offre aucun exemple de la lutte de

Digitized by Google

deux grandes forces opposées, telles d'une part, que l'action d'une rivière arrosant un grand continent, et de l'autre, celle des vagues, des marées et des courants de l'Océan. Mais, après avoir traversé le Pas-de-Calais pour se rendre sur le Continent, on trouve, en se dirigeant vers le nord-est, un magnifique exemple d'un pareil conflit : on y voit l'Océan et le Rhin se faire mutuellement opposition, et se disputer le terrain qu'occupe aujourd'hui la Hollande, s'efforçant de former, l'un un estuaire, et l'autre un delta. Le fleuve dut avoir l'avantage à l'époque où la configuration de la côte et le régime des marées étaient probablement très différents de ce qu'ils sont actuellement ; mais depuis les vingt siècles derniers, pendant lesquels l'homme a été témoin de ce combat, et y a pris une part active, le résultat a été en faveur de l'Océan. Pendant cette période, les limites du territoire hollandais se sont de plus en plus restreintes, des barrières naturelles et artificielles ont été détruites successivement, et plusieurs centaines de milliers d'hommes ont péri dans les flots.

Modifications observées dans les différents bras du Rhin. — En sortant des Alpes des Grisons, le Rhin, abondamment chargé de sédiment, en dépose une portion considérable dans le lac de

Digitized by Google

Biblioteca Nazionale V. E. III
NAPOLI

a. a. Portion des Pays-Bas qui, au temps fut en terre ferme.

Constance, où se forme un vaste delta; ensuite, grossi par l'Aar et par un grand nombre d'autres affluents, il parcourt plus de six cents milles (217') dans la direction du nord; puis, entrant dans une région basse, il se partage en deux bras, au nord de Clèves, un peu au-dessous du village de Pannerden,—point qui, par conséquent, doit être considéré comme la tête de son delta voir la carte, pl. 5). En parlant du delta du Rhin, je ne prétends pas que l'on puisse rigoureusement donner ce nom à toute la partie de la Hollande qui se trouve comprise entre les divers bras de ce fleuve; car certaine portion de la contrée ainsi circonscrite, telle qu'une partie de la Gueldre et la province d'Utrecht, consiste en strates qui peuvent avoir été déposées dans la mer avant que le Rhin existât. Il serait possible aussi que cette ancienne étendue eût été soulevée comme le Ullah Bund, dans le Kotch, à l'époque où le sédiment du Rhin convertissait en terre ferme une partie de la mer, ou que dans le principe elle eût formé des îles.

Lorsque le fleuve se partage en deux branches, au nord de Clèves, celle qui s'étend à gauche prend le nom de Whaal, et celle qui coule à droite, conservant celui de Rhin, se réunit, un peu plus au nord, à l'Yssel, au moyen d'un canal artificiel. Plus bas encore, le Rhin prend le nom de Leck, qui lui

Digitized by Google

a été donné pour le distinguer d'un autre bras appelé le Vieux Rhin; celui-ci resta ensablé jusqu'après 1825; alors on ouvrit le canal par lequel il entre aujourd'hui dans la mer, à Katwik. Il arrive ordinairement dans tous les grands deltas que les principaux canaux de décharge se déplacent de temps en temps; mais en Hollande, on a construit un si grand nombre de canaux magnifiques, et il en est résulté tant d'altérations dans le cours des eaux, que les changements géographiques de ce delta sont sans fin, et que leur histoire, depuis le temps des Romains, forme, pour les antiquaires, un sujet de recherches des plus compliqués. La pointe actuelle du delta se trouve à quarante milles géographiques de la partie la plus rapprochée du Zuyder-Zée, et à plus de deux fois cette distance de la ligne de côte générale. L'extrémité supérieure du delta du Nil est à 80 ou 90 milles géographiques à peu près de la mer; celle du delta du Gange, à 220, ainsi que cela a déjà été dit, et celle du delta du Mississipi, à 180 environ, en partant du point où l'Atchafalaya se divise en plusieurs branches, jusqu'à l'extrémité de la nouvelle langue de terre qui s'est formée dans le golfe du Mexique. Mais la distance comparative entre les pointes de ces divers deltas et la mer ne fournit presque aucune donnée pour l'é-

Digitized by Google

valuation de la grandeur relative des dépôts d'alluvion formés par leurs rivières respectives ; car, non seulement les ramifications dépendent d'un grand nombre de circonstances variables et temporaires, mais, de plus, l'espace sur lequel elles s'étendent n'a aucun rapport constant avec le volume de l'eau de chaque rivière.

Le Rhin a donc, quant à présent, trois embouchures. Les deux tiers environ de ses eaux se rendent à la mer par le Whaal, le reste est transporté en partie au Zuyder-Zée par l'Yssel, et en partie à l'Océan par le Leck. Comme de temps immémorial, et à quelques exceptions près seulement, toute la côte, jusqu'à Ostende du côté du sud, et jusqu'à l'entrée de la Baltique du côté du nord, a été en butte à l'action destructive des vagues, il est évident que le delta commun du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut, qui peuvent être considérés comme déversant leurs eaux dans la même partie de la mer, serait devenu extrêmement saillant si son accroissement n'avait point rencontré d'obstacles ; si même il était resté stationnaire, depuis longtemps il se serait avancé bien au-delà du contour arrondi de la côte, comme la langue de terre située à l'embouchure du Mississipi, que nous avons déjà décrite. Mais il se trouve, au contraire, que les îles qui bordent la côte ont diminué en nombre et en

Digitized by Google

étendue, et que de grandes baies se sont formées dans l'intérieur, par suite des invasions de la mer.

J'ai dit tout-à-l'heure que la côte méridionale, jusqu'à Ostende, a considérablement souffert de l'action destructive des vagues. Cette assertion peut, au premier moment, paraître opposée à ce fait que l'espace compris entre Anvers et Nieuport, et qui est indiqué par les lettres *a*, *a*, sur la carte ci-jointe (pl. 5) a, depuis les temps historiques, été recouvert par la mer, bien qu'aujourd'hui ce soit un terrain sec, habité par une population nombreuse. Au temps des Romains, cependant, cette région consistait en bois, en marais et en tourbières, protégés contre l'Océan par une chaîne de dunes sablonneuses à travers lesquelles les vagues, dans des moments d'orage, finirent par s'ouvrir un passage, surtout pendant le cinquième siècle. Lors de ces irruptions, les eaux de la mer déposèrent sur la tourbe stérile un lit horizontal d'argile qui la fertilisa, et qui, en quelques points, a trois mètres d'épaisseur; il est rempli de coquilles récentes et d'objets d'art. A l'aide de digues et des dunes de sable de la côte, les habitants sont parvenus, mais non sans éprouver de fréquents désastres, à garantir des atteintes des vagues le sol ainsi élevé par le dépôt de la mer (*).

(*) Belpaire, Mém. de l'Acad. Roy. de Bruxelles, tome X, 1837. Dumont, Bulletin de la même Soc., tome V, p. 643.

Digitized by

Invasions de la mer en Hollande. — Si nous avançons vers le nord du territoire dont nous venons de parler, nous trouvons, en traversant l'Escaut, qu'entre les XIVe et XVIIIe siècles, certaines parties des îles Walcheren et Beveland furent emportées par la mer, ainsi que plusieurs districts très populeux de Cadsand, — pertes qui, à beaucoup près, firent plus que contrebalancer l'augmentation de terre due à l'ensablement de quelques criques qui existaient auparavant. En 1658, l'île Orisant fut détruite, et en 1421, une des invasions les plus mémorables de la mer avait déjà eu lieu. Le flot de la marée s'étant alors précipité avec violence dans l'embouchure de la Meuse et du Whaal réunis, franchit la jetée qui se trouvait entre Dort et Geertruidenberg, inonda soixante-douze villages, et donna naissance à cette grande nappe d'eau que l'on désigne sous le nom de Bies Bosch. Trente-cinq des villages submergés furent entièrement perdus, car on n'en a jamais revu aucun vestige. Quoique la place qu'ils occupaient soit encore généralement représentée sur les cartes comme un estuaire, il n'en est pas moins vrai qu'elle a été comblée graduellement par des dépôts d'alluvion, et qu'en 1835, suivant le témoignage du professeur Moll, elle était devenue une plaine immense, produisant d'abondantes récoltes de foin, bien qu'elle ne fût

Digitized by Google

point encore habitée. Quant aux autres villages, ils ont été émergés. Au nord de la Meuse, on observe une longue ligne de côte couverte de dunes de sable dans lesquelles de grandes brèches ont été faites de temps en temps, par suite surtout de la prédominance des vents sud-est qui poussent les sables vers la mer. L'église de Scheveningen, située près de la Hague, était jadis au milieu du village; aujourd'hui, elle se voit au bord de la côte, la moitié de Scheveningen ayant été entraînée par les vagues, en 1570. Katwyk, autrefois loin de la mer, se trouve aussi maintenant sur le rivage; deux de ses rues ont été submergées, et le sol entraîné, sur une étendue de 200 mètres. Cet événement a eu lieu en 1719. Quant à Petten, et à plusieurs autres localités plus septentrionales, ce n'est qu'à l'aide de digues qu'elles ont pu se garantir des atteintes de la mer.

Formation du Zuyder-Zée et du détroit de Stareren. — Des changements plus importants encore se sont produits sur la côte à l'opposite du bras droit du Rhin ou de l'Yssel, au point où l'Océan, après avoir franchi un grand isthme, est entré dans le lac Flevo, dont l'origine, suivant Pomponius Mela, doit être attribuée à un ancien débordement du Rhin sur des terres basses. Il paraît qu'au

Digitized by Google

temps de Tacite, plusieurs lacs existaient à la place qu'occupe actuellement le Zuyder-Zée, entre la Frise et la Hollande. Les envahissements successifs qui déterminèrent la transformation de ces lacs et d'une partie considérable du territoire environnant en un grand golfe, commencèrent vers les premières années du treizième siècle, et continuèrent jusqu'à la fin de ce même siècle. Alting rend compte de cet événement d'après les documents manuscrits dus aux habitants contemporains des provinces voisines. En 1205, dit-il, l'île située au sud du Texel, et que l'on nomme aujourd'hui Wieringen, faisait encore partie du continent; mais lors de plusieurs inondations considérables dont on cite les dates, et dont la dernière eut lieu en décembre 1251, elle en fut entièrement séparée. La mer, dans des invasions postérieures, engloutit plusieurs grandes parties de l'isthme riche et populeux constituant la basse terre qui s'étendait au nord du lac Flevo, entre Staveren dans la Frise, et Medemblik en Hollande, jusqu'à ce que, vers 1282, la rupture devînt enfin complète; depuis, cette brèche s'est encore élargie. Quand la mer s'y précipita pour la première fois, elle entraîna un vaste espace de terrain et plusieurs villes; mais ensuite une réaction partielle ayant eu lieu, de grandes étendues, qui d'abord avaient été submergées, furent peu à peu remises à sec.

Digitized by Google

La largeur du nouveau détroit, au sud de Staveren, surpasse la moitié de celle du Pas-de-Calais; mais sa plus grande profondeur n'excède pas deux ou trois brasses. La nouvelle baie est d'une forme à peu près circulaire, et a de *trente* à *quarante* milles (11 à 14 lieues) de diamètre. On ignore quelle étendue de cet espace peut avoir jadis occupée le Lac Flevo. (Voyez planche V.)

Destruction de plusieurs îles. — La chaîne d'îles qui s'étend du Texel aux embouchures du Weser et de l'Elbe, forme très évidemment les derniers restes d'une terre autrefois continue. Ces îles ont sensiblement diminué de grandeur, et leur nombre a été réduit d'un tiers environ depuis le temps de Pline, qui en comptait vingt-trois entre le Texel et l'Eyder, où il n'y en a que seize aujourd'hui, en comprenant Helgoland et Neuwerk (*). Helgoland, située à l'embouchure de l'Elbe, commença en 800 à être fortement attaquée par les vagues. Elle le fut de nouveau en 1300, en 1500 et en 1649, jusqu'à ce qu'enfin il ne restât plus qu'une très petite portion de l'île primitive, consistant en un rocher de marne rouge qui appartient au keuper des Allemands et ayant deux cents pieds (61^{m}) environ de hauteur. Depuis l'année 1770, un passage dans lequel peu-

(*) Von Hoff, vol. I, p. 364.

Digitized by Google

vent naviguer de grands bâtiments a été ouvert par un courant à travers ce rocher, qui se trouve ainsi partagé en deux îles, Helgoland et Sandy Island (*). D'un autre côté, quelques îles ont étendu leurs limites dans une certaine direction, ou se sont réunies à d'autres, par suite de l'ensablement des canaux qui les séparaient; mais celles-ci mêmes ont, comme Juist, en général, autant perdu au nord ou vers la mer, qu'elles ont gagné au sud, c'est-à-dire du côté de la terre ferme.

Formation du Dollart. — On a peine à comprendre comment, lorsque le delta du Rhin a tant souffert des mouvements de l'Océan, les deltas des petites rivières qui se déversent sur la même côte ont pu augmenter d'étendue. Il paraît qu'au temps des Romains, il existait une plaine d'alluvion très fertile, où l'Ems se jetait par trois bras différents dans la mer. La basse terre qui s'étendait entre la province de Groningue et la Frise formait une presqu'île, au nord-est, vers Emden. En 1277, une première inondation détruisit une partie de cette presqu'île, et d'autres se succédèrent à diverses époques du xve siècle. En 1507, il ne restait de Torum, ville considérable, qu'une partie seulement, qui, malgré l'érection de plusieurs môles, finit par être

(*) Von Hoff, vol. I, p. 57.

Digitized by Google

emportée avec cinquante bourgs, villages et monastères. Le nouveau golfe, auquel on donna le nom de Dollart, quoique petit, comparativement au Zuyder-Zée, n'occupait pas, à l'origine, moins de six milles carrés (près de $\frac{8}{10}$ de lieue carrée); mais dans le cours des deux siècles suivants, une partie de cet espace fut rendue au continent. La petite baie de Leybucht, plus au nord, et celle de Harlbucht, ont été formées de la même manière; la première dans le treizième siècle, la seconde vers le milieu du seizième. Depuis, l'une et l'autre ont été partiellement converties de nouveau en terre sèche. Près de l'embouchure du Weser, un autre nouvel estuaire, le Golfe de Iahde, qui, sous le rapport de l'étendue, le cède à peine au Dollart, a été creusé graduellement depuis 1016; entre cette dernière époque et 1651, un espace d'environ quatre milles carrés (un peu plus d'une demi-lieue carrée) a été envahi par les vagues. Le ruisseau qui entre maintenant dans cet estuaire est très petit; mais Arens suppose qu'un des bras du Weser avait jadis une issue dans cette direction.

Côte du Sleswig. — En remontant vers le nord, la côte occidentale du Sleswig présente tant de traces de dégradation, que l'on peut en conclure d'avance qu'à une époque peu éloignée dans l'histoire de la

Digitized by Google

géographie physique de l'Europe, le Jutland pourra devenir une île, et que l'Océan entrera plus directement dans la Baltique. La séparation temporaire de l'extrémité septentrionale du Jutland ne s'est pas renouvelée moins de quatre fois depuis les temps historiques, l'Océan ayant fait, à quatre reprises différentes, une brèche dans la barre de sable qui ordinairement l'empêche de pénétrer dans le Lym-Fiord. Cette longue baie a cent vingt milles (43 lieues) de longueur, y compris ses sinuosités, et communique par son extrémité orientale avec la Baltique. La dernière irruption des eaux de la mer eut lieu en 1824, et le Fiord était encore ouvert en 1837, époque à laquelle plusieurs vaisseaux du port de trente tonneaux le traversèrent.

Les îles de Marsh, situées entre l'Elbe et l'Eyder, sont, comme les terres formées du sédiment déposé par l'Humber, et désigné sous le nom de « *warp* », de simples bancs protégés par des digues. Quelques unes d'entre elles, après avoir été habitées pendant plus de dix siècles avec sécurité, furent détruites subitement. En 1216, plus de dix mille habitants de l'Eyderstedt et du Dithmarschen périrent par suite d'une catastrophe semblable; et, le 11 octobre 1634, un déluge effroyable occasionna les plus grands ravages dans les îles et sur toute la côte, jusqu'au Jutland.

Digitized by Google

Destruction de Nordstrand par la mer. — Vers 1240, Nordstrand était, avec les îles Sylt et Fœhr, si voisine du continent, qu'elle pouvait, en quelque sorte, passer pour une presqu'île : elle constituait un pays parfaitement cultivé et très peuplé, auquel on donnait le nom de Frise Septentrionale. Son étendue était de neuf à onze milles géographiques du nord au sud, et de six à huit de l'est à l'ouest. Dans le cours de cette même année (1240), elle fut détachée de la terre ferme, et en partie détruite. L'île de Nordstrand, ainsi formée, n'avait plus, vers la fin du seizième siècle, que quatre milles géographiques de circonférence, mais elle était encore renommée par sa culture et par sa nombreuse population. Après avoir subi plusieurs pertes, il lui restait encore neuf mille habitants, lorsqu'en 1634, le soir du 11 octobre, une vague passa sur l'île et entraîna violemment treize cents maisons et plusieurs églises. Plus de six mille habitants et cinquante mille bêtes à cornes périrent dans cette inondation, après laquelle il ne resta que trois petites îles qui, aujourd'hui, éprouvent une dégradation incessante; le nom de Nordstrand est resté à l'une d'elles.

La grande quantité d'eau douce qui entre dans la Baltique, particulièrement au printemps, époque de la fonte des glaces et des neiges, détermine, en général, un courant qui sort par le détroit du Kattégat.

Digitized by Google

Mais lorsque les vents nord-ouest ont soufflé pendant un certain temps, et surtout au moment des hautes marées, les eaux de l'Atlantique se soulèvent et forment une vague qui, retombant dans la Baltique, occasionne d'effroyables dégâts sur les îles de l'Archipel Danois. L'action de ce courant se fait sentir, quoique avec une moindre intensité, jusque dans le voisinage de Dantzick (*). Des relations écrites pendant les dix siècles derniers attestent que les côtes du Danemark ont subi diverses modifications, telles que l'usure de quelques promontoires, l'approfondissement de certains golfes, la séparation de plusieurs presqu'îles d'avec le continent, la dégradation de quelques îles, et, de temps en temps, la submersion de certains terrains marécageux qui, après avoir été protégés pendant des siècles par des digues, ont fini par être inondés, en même temps que des milliers d'individus ont été entraînés par les vagues.

L'île Barsoë, sur la côte du Sleswig, a perdu, d'année en année, un acre (0,405 hect.) en une seule fois (voir la carte, pl. 5), et l'île Alsen a subi des pertes du même genre. En 1625, la presqu'île de Zingst a été transformée en île, et une tradition rapporte qu'originairement l'île de Rügen fut séparée de la

(*) On en voit des exemples dans l'ouvrage de M. de Hoff, qui cite Pisansky, vol. I, p. 73.

Digitized by Google

Poméranie par suite d'un orage. On sait que depuis 1625, époque à laquelle une portion de cette île avait été emportée ; une autre partie fut encore détruite. Quelques unes des îles dont nous venons de parler consistent en dépôts anciens d'alluvion, contenant des blocs de granit analogues à ceux que l'on rencontre sur le continent voisin.

Déluge Cimbrien.—Après avoir vu quels désastres affreux accompagnèrent le déluge qui eut lieu, en 1634, à Nordstrand, sur la côte occidentale du Jutland, on ne sera pas surpris que cette presqu'île, la Chersonèse Cimbrique des anciens, ait, depuis une période très éloignée, été le théâtre de catastrophes semblables. A ce sujet, Strabon rapporte le fait suivant, qu'il considère, toutefois, comme une fiction dénuée de fondement. Pendant une haute marée, dit-il, l'Océan s'éleva si rapidement sur cette côte, que des hommes à cheval purent à peine échapper (*). Florus faisant allusion à la même tradition, s'exprime ainsi : « Cimbri, Theutoni, atque Tigurini, ab extremis » Galliæ profugi, cùm terras eorum inundasset Occa- » nus, novas sedes toto orbe quærebant (**). » Bien qu'on suppose que cet événement, désigné ordinaire-

(*) Livre VII, Cimbri.
(**) Lib. III, cap. 3.

Digitized by Google

ment sous la dénomination de « Déluge Cimbrien », a eu lieu trois siècles environ avant l'ère chrétienne, il est assez probable que la catastrophe principale fut précédée et suivie de beaucoup d'autres, analogues à celles qui dans les temps modernes se sont manifestées sur les îles et les rivages du Jutland. On conçoit que de tels désastres aient pu déterminer forcément la migration de quelques espèces maritimes.

Incursions de la mer sur les côtes orientales de l'Amérique du Nord. — Après avoir donné autant de détails authentiques sur la destruction des côtes, dans quelques unes des parties les mieux connues de l'Europe, il devient inutile de multiplier beaucoup les exemples de changements analogues qui ont eu lieu dans des régions plus éloignées. Toutefois, on ne devra pas conclure du petit nombre de citations faites au sujet de ces contrées, que nos mers font exception à la règle générale. Lorsqu'on examine la côte orientale de l'Amérique du Nord, où les marées s'élèvent à une hauteur considérable, on trouve un grand nombre de faits qui attestent la destruction incessante de la terre ferme. Ainsi, au cap May, situé à la partie nord de la baie Delaware, dans les États-Unis, des observations poursuivies pendant seize années consécutivement, de 1804 à 1820, ont démontré que l'em-

Digitized by Google

piétement annuel de la mer pouvait être évalué, en moyenne, à neuf pieds (2m, 75) environ (*). De 1783 à 1786, la mer enleva à l'île de Sullivan, située à l'entrée nord de la rade de Charleston, dans la Caroline du Sud, une portion de terre d'un quart de mille (la douzième partie d'une lieue) d'étendue (**).

Flot de marée appelé « Barre », « Bore », ou « Mascaret ». — Avant de terminer mes remarques sur l'action des marées, je dois faire mention du flot ou vague qu'on désigne sous le nom de « Barre », « Bore », ou « Mascaret », et qui, quelquefois, se produit dans une rivière où un volume d'eau considérable éprouve une élévation subite, par suite du resserrement du lit de la rivière. Cette vague se termine brusquement du côté de la terre, parce que la quantité d'eau dont elle est formée est si grande, et son mouvement si rapide, que la surface de la rivière n'a pas le temps d'être immédiatement élevée par l'effet de la pression transmise. Un flot de marée doué d'une telle impétuosité a, suivant M. Whewell, une grande analogie avec les vagues qui tournoient et se brisent sur un rivage incliné (***).

La barre qui entre dans la Saverne, rivière où le

(*) New Monthly Mag. (Nouveau Magasin Mensuel), vol. VI, p. 69.

(**) Von Hoff, vol. I, p. 96.

(***) Phil. Trans, 1833, p. 201.

phénomène en question se manifeste presque journellement, a quelquefois neuf pieds (2m,75) d'élévation, et aux grandes marées elle se précipite dans l'estuaire avec une rapidité extraordinaire. Le même phénomène a lieu souvent aussi dans les branches principales du Gange et dans la Megna. « Dans l'Hougly, ou rivière de Calcutta, » dit Rennell, « la barre commence à Hougly Point, où la rivière se resserre, et elle devient sensible au-dessus d'Hougly Town. Son mouvement est si rapide qu'elle emploie à peine quatre heures pour arriver de l'un de ces points à l'autre, quoique la distance qui les sépare soit de près de soixante-dix milles (25l). A Calcutta, la barre donne lieu quelquefois à une élévation subite de cinq pieds (1m,52) dans les eaux de la rivière; et là, de même qu'en tout autre point de son cours, les bateaux, à son approche, quittent immédiatement le rivage, et gagnent, par précaution, le milieu de la rivière. Dans les canaux qui séparent les îles situées à l'embouchure de la Megna, la hauteur de la barre excède, dit-on, douze pieds (3m 65). Son aspect est si effrayant et ses effets sont si terribles, qu'aucun bateau ne se risque à passer au moment de la haute mer (*). » Ces vagues occasionnent quelquefois des inondations, minent les falaises, et plus souvent encore entraînent

(*) Rennell, Phil. Trans., 1781.

Digitized by Google

les arbres et les animaux terrestres qu'elles rencontrent sur des rivages peu élevés, et qui, par suite, peuvent se trouver ainsi transportés dans des régions lointaines, et être ensuite enfouis dans des dépôts fluviatiles ou sous-marins.

COURANTS OBSERVÉS DANS LES MERS ET DANS LES LACS INTÉRIEURS.

Dans des masses d'eau aussi considérables que les lacs de l'Amérique du Nord, la durée prolongée d'un vent impétueux, soufflant dans une même direction, occasionne souvent un mouvement ascensionnel des eaux, ainsi que leur accumulation du côté situé sous le vent; puis, lorsque l'équilibre se rétablit, de puissants courants sont produits. En octobre 1833, un fort courant déterminé dans le lac Erié, en partie par le mouvement des eaux vers leur point de sortie du lac, et en partie par le vent dominant, se fit un passage à travers la vaste péninsule désignée sous le nom de Long-Point, et en peu de temps creusa un canal de plus de neuf pieds (2^{m}, 74) de profondeur, et de neuf cents pieds (274^{m}) de large. Depuis, sa profondeur et sa largeur ont encore augmenté, et l'on y a construit à grands frais une nouvelle jetée, ce qui améliorera d'une

Digitized

manière durable la navigation à vapeur du lac Erié (*). A l'opposite, c'est-à-dire sur la côte méridionale de ce lac qui fait face à la ville de Cleveland, la dégradation des falaises avait été si rapide pendant plusieurs années avant la reconnaissance faite en 1837, que plusieurs villes furent menacées de destruction (**). Pallas nous apprend que dans la Mer Noire, où pourtant il n'y a pas de marées, on observe aussi un courant doué d'une force suffisante pour saper les falaises en différents points, et particulièrement dans la Crimée.

Détroit de Gibraltar. — Il a déjà été constaté qu'à Suez, le niveau de la Méditerranée est de vingt à trente pieds (6 à 9^{m}) plus bas que celui de la Mer Rouge (***).

On sait aussi qu'un fort courant coule constamment de l'Atlantique dans la Méditerranée, et que son influence s'étend non seulement sur toute la côte méridionale de cette mer, mais même jusqu'aux rivages de l'Asie-Mineure. Le capitaine Smith a trouvé que la vitesse constante du courant central se dirigeant vers l'est dans la Méditerranée, était

(*) M. S. du Cap. Bayfield, de la marine royale.
(**) Silliman's Journ., vol. XXXIV, p. 349.
(***) Voir p. 226 du présent volume.

Digitized by Google

de trois à six milles (1 à 2') par heure, et sa largeur de trois milles et demi (un peu plus d'une lieue). Mais il y a en outre deux courants latéraux — l'un qui longe la côte de l'Europe, et l'autre le rivage d'Afrique ; leur vitesse égale à peu près celle du courant central, et la largeur de chacun d'eux est de deux milles et demi (près d'une lieue) environ. Ils suivent les mouvements de la marée, se déversant alternativement dans la Méditerranée et dans l'Atlantique. L'excès de l'eau qui entre incessamment dans cette dernière mer est très considérable, et ne peut être attribué qu'à une seule cause, la perte qu'éprouve la Méditerranée par suite de l'évaporation. On conçoit parfaitement qu'une telle cause puisse donner lieu à une très forte diminution du niveau de cette mer, puisque les vents qui soufflent des rivages d'Afrique sont chauds et secs ; d'un autre côté, des expériences hygrométriques faites récemment à Malte et en plusieurs autres lieux montrent que la quantité moyenne d'humidité contenue dans l'air qui entoure la Méditerranée équivaut à la moitié seulement de celle que renferme l'atmosphère en Angleterre. Enfin, la température de cette grande mer intérieure excédant de $3\frac{1}{2}$ °F. (2° centig. environ) en moyenne celle de la partie orientale de l'Océan Atlantique, sous la même latitude, cette circonstance doit beaucoup faciliter son évapora-

Digitized by Google

tion. Quant à la Mer Noire, qui est située sous une latitude plus haute, et qui sert de réceptacle aux rivières coulant du nord, elle est beaucoup plus froide, et sa perte est bien moins considérable. Loin donc de rien recevoir de la Méditerranée, elle lui envoie une certaine quantité de ses eaux par l'intermédiaire d'un courant qui, pendant la majeure partie de l'année, s'échappe par le Détroit des Dardanelles. Toutefois, l'écoulement qui a lieu au Bosphore est si petit, comparativement au volume des eaux qu'amènent les rivières, qu'il doit faire supposer une évaporation considérable, même dans la Mer Noire.

De la salure de la Méditerranée. — Mais, a-t-on objecté, l'évaporation n'entraînant que de l'eau douce, et le courant qui vient de l'Atlantique apportant continuellement de l'eau salée, comment se fait-il que les parties constituantes des eaux de la Méditerranée ne varient pas, ou qu'elles conservent tant d'analogie avec celles de l'Océan? Quelques auteurs ont pensé que le sel en excès dans la Méditerranée pouvait être entraîné par un sous-courant coulant dans une direction opposée au courant supérieur. Cette opinion paraît confirmée par une expérience qu'a faite récemment le capitaine Smyth. Ayant puisé de l'eau à la distance de cin-

Digitized by Google

quante milles (8'), environ, dans l'intérieur du détroit, et à la profondeur de 670 brasses, il reconnut qu'elle contenait une quantité de sel *quatre fois plus grande* que celle de la surface. Le docteur Wollaston (*), qui analysa l'eau ainsi recueillie, suppose que si un sous-courant doué d'une telle densité, et se dirigeant de dedans en dehors, avait la même profondeur et la même largeur que le courant supérieur, il suffirait, lors même qu'il n'aurait pas le quart de sa vitesse, pour transporter dans l'Océan autant de sel que celui-ci en fait entrer dans la Méditerranée, et que, par suite, l'excès de salure de cette mer, par rapport à celle de l'Atlantique, n'irait pas toujours en augmentant. On a remarqué aussi que le résultat serait le même si, la vitesse étant égale, le courant inférieur n'avait que le quart du volume du courant supérieur. D'un autre côté, on crut pouvoir admettre que l'eau n'acquérait cette grande pesanteur spécifique qu'à d'immenses profondeurs, le docteur Wollaston ayant trouvé que deux échantillons pris dans la Méditerranée, à quelques centaines de milles du détroit, et à la profondeur de 400, et même de 450 brasses, n'avaient pas une densité plus considérable que d'autres échantillons recueillis dans toute autre partie de la mer. Or, ce fait étant établi, on peut prouver que la

(*) Phil. Trans., 1829, part. I, p. 29.

Digitized by Google

grande quantité de sel apportée dans la Méditerranée *ne repasse pas* le détroit. Il paraît, en effet, d'après les sondages exécutés par le capitaine Smyth, et dont le docteur Wollaston n'avait pas eu connaissance, qu'entre les caps Trafalgar et Spartel, qui sont à vingt-deux milles (8') l'un de l'autre, le détroit n'a, du côté du cap Spartel, que 220 brasses de profondeur. Il est donc évident que si, par suite de l'augmentation de sa pesanteur spécifique, l'eau s'abaisse dans certaines parties de la Méditerranée au-delà de 220 brasses, elle ne peut rentrer dans l'Atlantique, puisqu'alors elle doit être arrêtée par la barrière sous-marine qui traverse la partie la moins profonde du Détroit de Gibraltar.

Ce fut la circonstance suivante qui fit naître l'idée de l'existence d'un contre-courant, à une certaine profondeur. — M. Delaigle, commandant du corsaire *le Phénix*, de Marseille, poursuivait un vaisseau hollandais, près de la pointe de Ceuta, lorsque, l'ayant atteint dans le milieu du détroit, entre Tarifa et Tanger, il lui envoya une bordée qui bientôt le coula à fond. Peu de jours après, ce vaisseau fut jeté, avec sa cargaison d'eau-de-vie et d'huile, sur le rivage, près de Tanger, à quatre lieues, au moins, à l'ouest de la place où il avait coulé bas, ce qui montre qu'il avait flotté dans une direction contraire à celle du courant *cen-*

Digitized by Google

tral (*). Ce fait, toutefois, ne doit pas être considéré comme une preuve évidente de l'existence d'un sous-courant ; car le vaisseau, en approchant de la côte, avait dû nécessairement se trouver sous l'influence d'un courant latéral, qui, en coulant vers l'ouest deux fois en vingt-quatre heures, pouvait avoir ramené le vaisseau à Tanger.

Mais, demandera-t-on, que devient donc l'excès de sel? car cette question est du plus haut intérêt en géologie. Le Rhône, le Pô, le Nil et plusieurs centaines de sources et de courants de moindre importance transportent annuellement dans la Méditerranée de grandes quantités de carbonate de chaux, avec du fer, de la magnésie, de la silice, de l'alumine, du soufre et plusieurs autres substances minérales, à l'état de solution chimique. L'explication de la cause pour laquelle le carbonate de chaux n'altère pas la composition de cette mer, n'a jamais été regardée comme une difficulté ; car on sait que des roches calcaires sont en voie de se former dans le delta du Rhône, dans l'Adriatique, sur la côte de l'Asie-Mineure et en plusieurs autres localités. Il a été constaté que ce qui reste de la matière minérale, après l'absorption qu'en font les testacés, les zoophytes et divers autres animaux marins,

(*) Phil. Trans., 1724.

Digitized by Google

se précipite dans la mer. Toutefois, avant que la précipitation du muriate de soude pût s'opérer ainsi, il faudrait, suivant les principes admis en chimie, que la Méditerranée entière devînt aussi saturée de sel que le sont le Lac Aral, la Mer Morte et les sources salées du Cheshire.

Il est bien reconnu, à l'égard des petites masses d'eau, que chaque particule doit être entièrement saturée de muriate de soude, avant qu'un seul cristal de sel puisse être formé. C'est là probablement ce qui a lieu dans tous les salins naturels, comme ceux, par exemple, qui, suivant la description de plusieurs voyageurs, se trouvent sur les bords occidentaux de la Mer Noire, où l'on prétend que de vastes marais sont couverts de minces pellicules d'eau salée, lorsqu'une évaporation rapide d'eau de mer s'est produite. Les marais salants du Rhône, où le sel est précipité quelquefois en très grande abondance, ont été déjà mentionnés. Quoi qu'il en soit, si l'époque de la séparation presque complète de la Méditerranée et de l'Océan n'est pas plus ancienne que l'accumulation des couches tertiaires les plus récentes que l'on trouve à la base septentrionale des Pyrénées, on concevra que cette mer intérieure, surtout lorsque sa profondeur est très considérable, ait pu devenir de plus en plus salée depuis que son bassin actuel existe, bien que pourtant il

ne se soit peut-être pas écoulé un temps suffisant pour que, même à de grandes profondeurs, son degré de salure puisse approcher de celui de la Mer Morte.

Quant à la profondeur de la Méditerranée, il paraît que dans la partie la plus étroite du Détroit de Gibraltar, c'est-à-dire entre l'île de Tarifa et la pointe d'Alcanzar, où il n'a environ que neuf milles (un peu plus de 3') de large, la profondeur de l'eau varie de 160 à 500 brasses; mais, entre Gibraltar et Ceuta, le capitaine Smyth ayant sondé jusqu'à 950 brasses, rencontra un fond de gravier, sur lequel se trouvaient des fragments de coquilles brisées. A Nice, Saussure atteignit avec la sonde la profondeur de deux mille pieds (plus de 600^{m}), à quelques mètres du rivage; et récemment, M. Bérard a sondé en plusieurs points jusqu'à plus de six mille pieds (1800^{m} environ), sans toucher le fond (*).

D'après cela, n'y a-t-il pas lieu de croire que les gouffres que renferme la Méditerranée, dans ses parties centrales, sont au moins aussi profonds que les Alpes sont hautes? D'un autre côté, comme on a reconnu qu'à la profondeur de 700 brasses, ses eaux contiennent quatre fois plus de sel qu'à la surface, ne peut-on pas supposer que cette substance s'y trouve en proportion bien plus consi-

(*) Bull. de la Soc. Géol. de France.—Résumé, p. 72, 1832.

Digitized by Google

dérable encore à deux ou trois milles ($\frac{2}{3}$ de lieue ou 1') de profondeur? Après l'évaporation, l'eau de la surface acquiert un léger excès de sel, ce qui augmente sa pesanteur spécifique, et la fait tomber instantanément au fond; tandis que l'eau plus légère monte à la partie supérieure, ou se répand latéralement dans l'intérieur de la masse, se trouvant sans cesse remplacée par celle qui vient des rivières et du courant de l'Atlantique. Quand le liquide le plus lourd arrive au fond, il ne peut s'arrêter tant qu'il rencontre des parties inférieures de la mer qui n'ont pas été préalablement occupées par de l'eau de même densité.

Jusqu'où cette accumulation de sel peut-elle s'étendre avant que les couches d'eau inférieures abandonnent une partie de celui qu'elles contiennent, et quelle modification l'énorme pression de la masse supérieure de l'Océan peut-elle apporter à cette action chimique? Ce sont là des questions auxquelles il est impossible de répondre dans l'état actuel de la science.

On prétend que le Détroit de Gibraltar s'élargit peu à peu par suite de l'usure qui se produit en plusieurs points des falaises qui le bordent de chaque côté. Le courant, en longeant la côte d'Afrique, occasionne aussi en diverses parties, et surtout près de Carthage, des empiéte-

Digitized by Google

ments considérables. A Aboukir, près de la bouche Canopique du Nil, la côte a subi d'effroyables ravages en 1784, époque où une petite île fut presque entièrement détruite. Enfin, par suite d'une série de circonstances semblables, la place où s'élevaient jadis les cités de Nicopolis, de Taposiris, de Parva et de Canopus n'est plus marquée actuellement que par un banc de sable (*).

(*) Clarke's Travels in Europe, Asia and Africa (Voyages de Clarke en Europe, en Asie et en Afrique), vol. III, p. 340 et 363. 4e édition

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

EFFETS REPRODUCTEURS DES MARÉES ET DES COURANTS.

Le comblement des estuaires ne compense pas la perte qu'éprouve la terre ferme sur les bords de l'Océan. — Lit de la mer d'Allemagne. — Composition et étendue des bancs de sable qu'elle renferme. — Couches déposées par les courants sur les côtes méridionales et orientales de la Méditerranée. — Transport du sédiment de l'Amazone, de l'Orénoque et du Mississipi par les courants. — Stratification.

D'après les faits mentionnés dans le chapitre précédent, il paraît que sur les bords de l'Océan, l'action des courants et des marées, jointe à celle des vagues de la mer, concourt puissamment à la destruction et au transport des roches ; et, ainsi que beaucoup d'affluents déchargent la matière alluviale qu'ils renferment dans le canal d'un grand fleuve, de même, un grand nombre de rivières transmettent leur

Digitized by Google

contenu terreux à un courant marin qui les emporte au loin, et les dépose dans quelque cavité profonde de l'Océan. Mais, non seulement le courant reçoit ce tribut de matière sédimentaire des cours d'eau qui arrosent la terre ferme, il agit aussi lui-même sur la côte, comme les rivières agissent sur les roches qui bordent une vallée. On a reconnu que sur les rivages des Iles Britanniques, les courants présentent autant de sinuosités que les rivières ordinaires. Quelquefois ils coulent entre des bancs de sable formés par la matière accumulée dans les points où leur vitesse a été retardée; mais il arrive très souvent qu'ainsi que dans les rivières, un des bords est formé d'un gravier alluvial fort bas, et l'autre d'une roche dure, élevée, et constamment sapée; d'où il résulte que le courant, en suivant ses sinuosités, bat çà et là sur la côte, qui, alors, constitue un des bords, tandis qu'un haut-fond forme l'autre. Si la côte est composée de matériaux solides, ou si elle est très élevée, elle cède lentement; car, dans ce cas, il devient nécessaire qu'une grande quantité de matière soit entraînée, pour que la mer puisse pénétrer à quelque distance.

Dans les mers intérieures, où les marées sont insensibles, ainsi que sur les parties des bords de l'Océan où elles sont très faibles, il est en quelque sorte impossible d'empêcher l'envasement d'un port situé

Digitized by Google

à l'embouchure d'une rivière ; car une barre de sable ou de limon se forme dans les endroits où la vitesse de la partie trouble de la rivière se trouve retardée par la mer, ou dans ceux où l'action de la rivière et celle d'un courant marin se neutralisent mutuellement ; le courant pouvant, ainsi que nous l'avons déjà vu, tenir en suspension, comme la rivière, une gran de quantité de sédiment, ou, secondé par les vagues, occasionner le mouvement progressif d'un banc de galets dans une certaine direction. J'ai déjà fait mention des jetées et des épis qui ont été établis en plusieurs points de nos côtes méridionales pour arrêter la marche progressive des galets et du sable (Voyez p. 289). L'effet immédiat de ces obstacles temporaires est de donner lieu à une grande accumulation de cailloux d'un des côtés de la barrière, après quoi la levée de galets qui forme le rivage se meut autour de l'extrémité de la jetée, à une plus grande distance de la terre. Ce système, toutefois, n'est pas exempt d'inconvénients très graves ; car on a vu quelquefois, dans des moments d'orage, les vagues lancer subitement dans le port la masse de cailloux qu'elles avaient amoncelée, pendant des années entières, derrière la jetée. C'est ce qui arriva lors du dernier coup de mer violent qui se fit sentir à Douvres, en janvier 1839.

Digitized by Google

De la manière dont se forment les estuaires. — La formation et la conservation des grands estuaires sont dues à *l'influence combinée* des courants de marée et de celui des rivières. Lorsque la marée monte, une grande masse d'eau entre subitement dans l'embouchure de la rivière ; là, se trouvant limitée dans des bornes plus étroites, avant que son *momentum* soit détruit, elle est poussée en avant ; puis, ayant à franchir un canal resserré, elle s'élève et court avec une vitesse accélérée, exactement comme un courant qui, sur le point d'atteindre l'arche d'un pont à peine assez large pour laisser passer ses eaux, se précipite avec violence sous cette arche Pendant l'élévation de la marée, une masse d'eau douce descendant des hautes terres, en direction opposée, est arrêtée dans son cours pendant plusieurs heures, ce qui donne lieu à la production d'un grand lac d'eau saumâtre ; mais au moment du reflux, les eaux ainsi accumulées n'étant plus retenues, s'échappent et se répandent comme si, après avoir été renfermées quelque temps au moyen d'une écluse, cette écluse venait à être ouverte. Par suite du retrait de ces eaux, le sédiment alluvial de la rivière et de la mer est balayé et transporté à une telle distance de l'embouchure de l'estuaire que la marée suivante n'en peut ramener qu'une très faible partie.

Il arrive quelquefois, pendant un violent orage,

Digitized by Google

qu'une grande barre de sable change subitement de position, de manière à gêner le cours des marées ou celui des eaux de la rivière. C'est ainsi qu'à Bayonne, vers l'an 1500, les sables furent jetés tout d'un coup en travers de l'embouchure de l'Adour. Refluant alors sur elle-même, cette rivière s'ouvrit un passage vers le nord, et suivit la plaine sablonneuse de Cap-Breton, jusqu'à ce qu'enfin elle atteignît la mer au Boucaut, à *huit lieues environ* du point où elle s'y déchargeait autrefois. Ce ne fut qu'en 1579 que le célèbre architecte Louis de Foix entreprit, à la demande de Henri III, de rouvrir l'ancien canal de cette rivière, travail dont il ne vint à bout qu'après avoir surmonté de grandes difficultés (*).

Marées dans les estuaires. — Dans l'estuaire de la Tamise à Londres, et dans la Gironde, la marée ne met que cinq heures à monter, tandis qu'elle en met sept à descendre. En général, dans tous les estuaires, l'abaissement de l'eau s'opère plus lentement que son élévation, de sorte que la force prépondérante est toujours dans la direction qui tend à maintenir ouvert un large et profond passage. Mais, ainsi que nous l'avons déjà vu, tous les estuaires ont une

(*) Nouvelle Chronique de la ville de Bayonne, p. 113, 139, 1827.

Digitized by Google

tendance naturelle à s'envaser partiellement, depuis que les remous et les points de rencontre de courants opposés se sont beaucoup multipliés et changent sans cesse de position.

L'envasement des estuaires ne compense pas la perte que subissent les côtes. — Plusieurs auteurs ont prétendu que l'accroissement qui s'est produit sur la côte orientale de l'Angleterre, depuis les temps les plus reculés de l'histoire, excède la perte que cette côte a éprouvée. Il est vrai qu'ils n'ont pas pris la peine de calculer la somme totale de la perte, et qu'ils ont souvent perdu de vue que, si les phénomènes d'accroissement ont un caractère d'évidence qui les rend sensibles, il n'en est pas de même des parties continentales depuis longtemps détruites, par la raison qu'il se trouve rarement des indices naturels qui puissent servir à en constater l'ancienne existence. D'un autre côté, ils ont tenu compte des étendues de terrain que l'homme a reconquises sur la mer, et qui, souvent d'une grande importance pour l'agriculture, peuvent rester à sec pendant des milliers d'années, quoique leur niveau ne soit supérieur à celui de la mer que de quelques pieds ; mais elles n'en sont pas moins exposées à être submergées de nouveau par une faible partie de la force qui, sur nos côtes, est nécessaire pour en-

Digitized by Google

traîner des falaises d'une hauteur considérable. Quoi qu'il en soit, lors même que la portion de terre ferme annuellement abandonnée par la mer dans les estuaires serait égale à celle qu'elle envahit, les terrains gagnés et les terrains perdus offriraient toujours, envisagés au point de vue de leur nature, une certaine différence.

Bien que le plus grand nombre des estuaires soient exposés d'une manière toute particulière aux invasions de l'Océan, on a remarqué qu'en général ils diminuent d'étendue sur les points mêmes où toute la ligne de côte subit des effets de dégradation. Ce fait, au premier abord, peut paraître paradoxal, mais il n'en est pas moins certain. On sait que les empiétements de la mer sur les estuaires, quoique très considérables, s'accomplissent dans des espaces de temps assez courts comparativement, et que dans les intervalles qui s'écoulent entre ces irruptions, les embouchures des rivières, de même que les autres parties de la côte, sont ordinairement dans un état de repos plus ou moins complet. Tous les estuaires, considérés dans leur ensemble, ne forment qu'une faible portion d'une grande ligne de côte; il est donc très probable que, si nos observations ne s'étendent qu'à quelques siècles, nous ne verrons pas, ou que du moins nous ne verrons que très rarement la totalité de cette petite portion exposée à la fureur de l'Océan.

Digitized by Google

Si la côte de la Hollande et de la Frise avait été étudiée pendant plusieurs siècles consécutifs depuis l'ère romaine, cet examen aurait généralement fait voir qu'un prompt empiétement de la terre ferme sur la mer a eu lieu, et que l'agrandissement dans l'intérieur des estuaires a fait bien plus que compenser les pertes qu'éprouve la partie ouverte de la côte; mais lorsque d'un coup-d'œil rétrospectif on embrasse la période tout entière, on en vient à une conclusion opposée : on reconnaît que le Zuyder-Zée, le Bies-Bosch, le Dollart et le Iahde, sont des golfes et des baies modernes, et qu'ils ont été le théâtre de la retraite, et non de l'accroissement du continent. Si nous possédions des renseignements certains sur les changements que nos côtes ont éprouvés pendant plusieurs milliers d'années, ils offriraient probablement des résultats semblables; car, bien que jusqu'ici nous ayons vu la plupart de nos estuaires partiellement transformés en terre sèche, et de hautes falaises, situées entre des embouchures de rivières, envahies par l'Océan, nous ne pouvons attribuer ces divers phénomènes qu'au régime accidentel des courants et des marées pendant une courte période.

Le courant qui, venant du nord-ouest, porte contre la côte orientale de l'Angleterre, charrie, comme nous l'avons déjà remarqué, des matières

Digitized by Google

de diverses sortes. Secondé par les vents, ainsi que par les vagues, il mine et entraîne le granit, le gneiss, les roches trappéennes, le grès des Shetland, et emporte le gravier et la marne des falaises de l'Holderness, du Norfolkshire et du Suffolkshire, dont la hauteur varie de cinquante à deux cents pieds (15^{m} à 60^{m}), et dont la dégradation peut être évaluée à la proportion d'un à six mètres par année. Il contribue aussi, avec le courant de la Tamise et les marées, à miner les couches d'argile de Londres qui se trouvent sur la côte de Sheppey et de l'Essexshire. La mer, en même temps, détruit la craie et les silex que renferme cette roche, sur une étendue continue de plusieurs milles, le long des rivages du royaume de Kent et du Sussexshire; elle dégrade les strates d'eau douce qui, dans l'Hampshire, sont recouvertes d'une couche épaisse de gravier formé de silex de la craie, et sape incessamment la base du calcaire de Portland. Ce courant du nord-ouest reçoit, en outre, pendant les mois pluvieux de l'année, de grandes quantités de cailloux, de sable et de limon, que de nombreux cours d'eau venant des Grampians, des monts Cheviot et de diverses autres chaînes de montagnes, amènent à la mer. Vers quelles régions se portent donc toutes ces matières, qui ne sont pas retenues mécaniquement en suspension par les eaux de l'Océan, et qui ne s'y mêlent pas à l'état de so-

lution chimique? Elles se déposent sur quelque point, mais bien certainement ce n'est pas dans le voisinage immédiat de nos rivages; car, dans ce cas, il y aurait bientôt cessation de tout envahissement de la mer, et de grandes étendues de terre basse, telles que les marais de Romney, entoureraient notre île presque de toutes parts.

Comme il se trouve maintenant plus de trente pieds (9m env.) d'eau sur des points où des villes telles que Dunwich, florissaient encore, il y a quelques siècles, il est évident que non seulement le courant transporte au loin les matériaux provenant de la dégradation des falaises, mais qu'il entraîne aussi les débris d'un grand nombre des couches régulières qui forment le fond de la mer.

La quantité de matière tenue en suspension par le courant de la marée est si considérable sur nos côtes que, pour exhausser certaines terres dont le niveau est inférieur à celui de la mer, on y introduit artificiellement des eaux venant de ce courant; en répétant pendant deux ou trois ans l'opération qu'on nomme « colmattage », on est parvenu à élever de six pieds (1m, 82) environ de vastes étendues de terre, dans l'estuaire de l'Humber. Si un courant chargé de pareils matériaux rencontre quelques profondes dépressions dans le lit de l'Océan, il doit souvent arriver qu'il les comble, — exactement

Digitized by Google

comme une rivière qui, rencontrant un lac dans son cours, le remplit peu à peu de sédiment.

Les seuls monuments qui attestent aujourd'hui la diminution graduelle de la profondeur des mers se bornent, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, à des estuaires, à des ports, à certains canaux peu profonds, et à quelques mers intérieures, comme la Baltique, l'Adriatique et le golfe Arabique. Ce n'est que depuis peu d'années que des reconnaissances et des sondages, faits avec exactitude, ont fourni, pour des mers très profondes, des données de comparaison dont les géologues qui nous suivront pourront profiter.

Un accroissement extraordinaire de terre ferme paraît s'être produit à l'extrémité supérieure de la Mer Rouge, la largeur de l'Isthme de Suez ayant doublé depuis le siècle d'Hérodote. De son temps, et jusqu'à celui d'Arrien, Heroopolis était sur la côte ; aujourd'hui elle se trouve aussi loin de la Mer Rouge que de la Méditerranée (*). Suez, qui, en 1541, reçut dans son port la flotte de Soliman II, ne forme plus à présent qu'un banc de sable. Le territoire de Tehama, situé sur la côte Arabique du golfe, a augmenté de trois à six milles (1 à 2') depuis l'ère

(*) Danville, Mém. sur l'Egypte, p. 108. — Von Hoff, vol. I, p. 390

Digitized by Google

chrétienne. A une certaine distance des ports actuels, on trouve, dans l'intérieur des terres, les ruines de villes plus anciennes, qui jadis étaient sur le bord de la mer, et portaient le même nom que les nouveaux ports. On dit que le sable transporté des déserts par le vent fournit une partie des matériaux de ce nouveau terrain, et que le reste se compose de coquilles et de coraux dont l'accroissement est très rapide.

Comblement de la Mer d'Allemagne. — C'est sur la côte de Norwége, où les sondages donnent 190 brasses, que la Mer d'Allemagne a le plus de profondeur; quant à l'ensemble de son bassin, on ne peut en évaluer la profondeur moyenne à plus de 31 brasses (*). Le lit de cette mer est traversé par plusieurs bancs considérables, dont l'un occupe une position centrale et se dirige, à partir du Golfe de Forth, vers le nord-est, jusqu'à une distance de cent dix milles (40' env.); plusieurs autres s'étendent depuis le Danemark et le Jutland jusqu'à plus de cent cinq milles (38') au-delà, dans la direction du nord-ouest; tandis que le plus grand de tous, le Dogger Bank, règne, du nord au sud, sur un espace de plus de trois cent

(*) Stevenson, On the Bed of the German Ocean, or North Sea (Sur le lit de la Mer d'Allemagne ou du Nord, par Stevenson). — Ed. Phil. Journ., N° V, p. 44, 1820.

Digitized by Google

cinquante quatre milles (128'). La superficie entière de ces hauts-fonds énormes est égale à $\frac{1}{5}$ à peu près de l'étendue totale de la Mer d'Allemagne, ou à $\frac{1}{3}$ environ de l'étendue de l'Angleterre et de l'Écosse réunies (*). Leur hauteur moyenne est, suivant M. Stevenson, de soixante-dix-huit pieds (24^{m}), et leur partie supérieure consiste en sable siliceux fin et grossier, mêlé de coquilles et de coraux brisés (**).

Quelques auteurs ont supposé que ces grandes collines sous-marines sont composées de sable et de divers autres matériaux friables, provenant principalement de la dégradation des côtes d'Angleterre, de Hollande et de quelques autres encore; mais la dernière reconnaissance de la Mer du Nord, exécutée sous la direction du capitaine Hewett, donne lieu de supposer que cette opinion est fort erronée. Si ces énormes monticules de sable et de limon avaient été accumulés sous l'influence de courants, il est à croire que les mêmes causes auraient à peu près nivelé tout le fond de la Mer d'Allemagne; mais, au lieu de cela, de longs ravins étroits traversent quelquefois les bancs. La profondeur d'un de ces ravins varie entre 17 et 44 brasses; elle atteint même

(*) Stevenson, on the Bed of the German Ocean.—Ed. Phil. Journ., N° V, p. 47, 1820.

(**) Id.

Digitized by Google

55 brasses sur un point qu'on désigne sous le nom de « Inner Silver Pits, » et ses pentes sont très escarpées. Les parties les plus élevées du Dogger Bank, c'est-à-dire celles où l'eau a le moins de profondeur, se trouvent à quarante-deux pieds (13^{m} env.) au-dessous de la surface de la mer, excepté à l'endroit où un vaisseau naufragé a donné lieu à la production d'un haut-fond; de sorte que l'on doit supposer que les courants dont la vitesse varie entre un mille et deux milles et demi ($\frac{1}{3}$ de l. et près d'1 l.) par heure, peuvent empêcher l'accumulation des matières transportées en des points de moindre profondeur. Il semble donc que les grands bancs dont nous venons de parler ne peuvent, non plus que les ravins qui les traversent, avoir été produits par les marées et les courants de cette mer, tels du moins qu'ils s'y manifestent aujourd'hui; mais il se pourrait qu'ils dussent en grande partie leur origine aux mouvements qui se produisaient dans l'Océan, à quelque époque ancienne; à celle, par exemple, où le lit de la Mer d'Allemagne et la surface du continent adjacent prirent leur configuration actuelle.

Strates déposées par des courants. — Il paraît extraordinaire que des multitudes de coquilles fragiles et de zoophytes puissent vivre sur des points

Digitized by Google

de la mer, avoisinant la côte d'Angleterre, où l'on sait que des courants non seulement entraînent d'énormes blocs de rocher détachés des falaises, mais où, parfois aussi, ils creusent des canaux dans les couches régulières. Cependant, à cet égard, l'Océan offre la contre-partie de ce qui se passe sur la terre ferme; car, de même que sur les continents, les rivières minent leurs bords, déracinent des arbres, charrient du sable et du gravier, tandis que leurs eaux sont habitées par des testacés et des poissons, et que leurs plaines alluviales sont couvertes d'une riche végétation et de vastes forêts, de même la mer peut être sillonnée par des courants rapides, et son lit peut éprouver de grands dérangements locaux, sans que l'ordre et la tranquillité qui y règnent, en général, subissent la moindre interruption.

Un caractère important à remarquer dans les formations produites par les courants, est l'espace immense sur lequel ces derniers peuvent répandre des mélanges homogènes; car souvent ils longent une grande ligne de côte sur toute son étendue, et les dépôts auxquels ils donnent naissance, comparés à ceux des deltas des rivières, font paraître ceux-ci tout-à-fait insignifiants. Dans la Méditerranée, le même courant qui, entre le Détroit de Gibraltar et le Nil, occasionne la destruction rapide de plusieurs

parties de la côte d'Afrique, empiète aussi sur le delta du Nil, et entraîne vers l'est le sédiment de ce grand fleuve. On peut attribuer à cette cause les accroissements rapides de la terre ferme sur les divers points des côtes de la Syrie, où aucune rivière ne débouche.

M. Girard, un des savants qui firent partie de l'expédition des Français en Égypte, et qui furent employés à la reconnaissance de l'ancien canal d'Amrou, communiquant du Nil à la Mer Rouge, pense que l'Isthme de Suez lui-même n'est autre chose qu'une barre formée par les dépôts de ce courant et du Nil, et que jadis les deux mers étaient réunies (*). Ce qui, en tout cas, est certain, c'est que l'isthme, ainsi que cela a été déjà établi, augmente chaque jour de largeur par l'addition des nouveaux dépôts qui s'accumulent sur les rivages de la Méditerranée (**).

De la manière dont le sédiment de l'Amazone se trouve distribué par certains courants. — Parmi les plus grands dépôts qui sont actuellement en voie de se produire, et dont la distribution est principalement déterminée par des courants, on peut ranger

(*) Description de l'Egypte, Mémoires, t. I, p. 33.
(**) Quarterly Review, N° lxxxvi, p. 445.

ceux qui se forment entre les embouchures du fleuve des Amazones et la côte méridionale de l'Amérique du Nord. Nous avons déjà vu qu'un grand courant longe, en venant du sud, la côte d'Afrique; puis, qu'après avoir atteint l'extrémité supérieure du Golfe de Guinée, et avoir rencontré les eaux qu'amène au même point, mais en sens contraire, le courant de Guinée, il prend une direction occidentale, et poursuit sa course rapide à travers l'Atlantique, jusqu'à l'Amérique du Sud. Là, une de ses parties s'avance, en longeant la côte septentrionale du Brésil, jusqu'à la mer des Caraïbes et au Golfe du Mexique. Suivant le capitaine Sabine, ce courant est doué de la vitesse extraordinaire de quatre milles ($1^{l}\frac{1}{3}$) par heure, à l'endroit où il traverse le courant provenant du fleuve des Amazones, qui conserve une partie de son impulsion primitive jusqu'à trois cents milles (plus de 100^{l}) de son embouchure, et dont les eaux, jusqu'à cette même distance, ne se mélangent pas complétement avec celles de l'Océan (*). Le sédiment de l'Amazone se trouve ainsi transporté constamment vers le nord-ouest, jusqu'aux bouches de l'Orénoque, et une immense étendue de terres marécageuses se forme le long de la côte de la Guiane,

(*) Experiments to determine the Figure of the Earth, etc. (Expériences pour déterminer la figure de la Terre, etc.), p. 445.

Digitized by Google

avec une longue suite de hauts-fonds limoneux qui bordent des marais et se convertissent en terre ferme (*). Une partie du sédiment de l'Orénoque est retenue près de son embouchure, ce qui donne lieu à l'accroissement rapide des rivages de la Trinidad; et une autre partie est entraînée dans la Mer des Caraïbes par le courant de Guinée. Suivant M. de Humboldt, une grande portion de ce sédiment est transportée de la Mer des Caraïbes dans le Golfe du Mexique. Lorsque les rivières qui descendent du plateau élevé du Mexique, entre les bouches du Rio del Norte et Tampico, arrivent gonflées par les pluies tropicales, au bord de ce plateau, elles entraînent aussi dans la mer une énorme quantité de débris de roches et de limon; mais le courant, en passant devant leurs embouchures, met obstacle à l'accroissement des deltas, et conserve une courbure presque uniforme sur cette ligne de côte (**). Il doit donc exercer un grand pouvoir de transport, et entraîner une partie des matières déchargées par les bouches du Rio del Norte et du Mississipi.

(*) Lochead's Observations on the Nat. Hist of Guiana, Edin. Trans. (Observations sur l'Histoire Naturelle de la Guiane, par Lochead.) Transactions d'Edimbourg, vol. IV.

(**) Cette côte a été explorée par le capitaine Vetch. — Voir aussi la carte du golfe du Mexique, par Bauza.

Étendue de l'espace sur lequel des strates dues à l'action des courants peuvent être formées. — A l'égard de la distribution du sédiment opérée par les courants, nous ferons observer que la précipitation du limon fin entraîné par toutes les grandes rivières dans l'Océan, ou de celui qui résulte du mouvement des vagues sur les rivages, doit s'effectuer d'une manière très lente; car plus les molécules de limon sont fines, plus elles mettent de temps à descendre, et plus elles acquièrent promptement ce qu'on nomme leur vitesse finale. On sait que la chute d'un corps solide dans un milieu résistant s'opère en vertu de l'action constante de la pesanteur; mais le mouvement de ce corps éprouve d'autant plus de résistance de la part du milieu dans lequel il tombe que sa vitesse augmente, — effet qui continue à se produire jusqu'à ce que la résistance devienne suffisante pour neutraliser l'augmentation de vitesse que la pesanteur engendrerait. Par exemple, une balle de plomb d'un pouce (25 ^{mm}) de diamètre, qui tomberait dans un milieu aériforme doué d'une densité égale à celle que possède l'air atmosphérique à la surface de la terre, n'acquerrait jamais une vitesse plus grande que de deux cent soixante pieds (79^{m},25) par seconde, et de huit pieds six pouces (2^{m},59) dans l'eau. Si le diamètre de la balle n'était que de $\frac{1}{100}$ de pouce ($\frac{1}{4}$ de millimètre), sa vitesse finale serait de vingt-six

Digitized by Google

pieds ($7^m,92$) par seconde dans l'air, et de $\frac{86}{100}$ de pied ($0^m,26$) dans l'eau.

Or, on sait que de petites molécules tombent dans l'eau avec une extrême lenteur, l'étendue de leur surface étant très grande proportionnellement à leur poids, et la résistance du fluide dépendant de l'étendue de cette surface. Un précipité de sulfate de baryte, par exemple, met quelquefois plus de cinq ou six heures pour descendre d'un pouce (25^{mm}) (*); et l'oxalate ainsi que le phosphate de chaux emploient près d'une heure pour s'abaisser respectivement d'environ un pouce et demi et deux pouces (37 et 50^{mm}) (**), tant sont petites les molécules de ces substances.

Quand on considère que, suivant toute probabilité, la profondeur de l'Océan excède souvent trois milles (1') ; que des courants doués d'une vitesse de quatre milles ($1'\frac{1}{3}$) à l'heure le sillonnent dans plusieurs de ses parties, et que le limon fin entraîné des embouchures des rivières et des rivages de la mer, dans les points où se trouve un fort brisant, peut, ainsi que la poudre impalpable émise par les volcans, tomber à raison d'un pouce (25^{mm}) par heure, on conçoit l'étendue considérable des espaces

(*) D'après M. Faraday.
(**) D'après M R. Phillips.

Digitized by Google

sur lesquels s'opère quelquefois le transport des sédiments.

Il arrive assez souvent que la poudre d'émeri qu'on emploie pour polir le verre mette plus d'une heure pour s'abaisser d'un pied (30^{c}). Si l'on suppose qu'un limon composé de particules deux fois aussi grossières, tombe de deux pieds (60^{c} env.) par heure, et que ces molécules soient déchargées dans la partie du Gulf Stream qui conserve une vitesse moyenne de trois milles (1^{l}) par heure, sur une étendue de deux mille milles (plus de 700^{l}), on verra qu'en vingt-huit jours elles auront été emportées à deux mille seize milles (730^{l}), et ne se seront abaissées que de 224 brasses.

Dans cet exemple on suppose que le courant conserve, à la profondeur de 224 brasses, la vitesse qu'il a à la surface; mais nous ne possédons point de données certaines à cet égard. Des expériences qui seraient faites dans le but de constater la vitesse des courants à des distances considérables de la surface, et le temps employé par le sédiment le plus fin pour descendre à une profondeur donnée dans l'eau de mer, mettraient le géologue à portée de déterminer l'étendue des espaces sur lesquels des mélanges homogènes peuvent être déposés simultanément dans certaines mers.

Digitized by Google

Stratification. — Quant à l'arrangement intérieur des formations accumulées dans les mers profondes, par des courants éloignés des terres, on peut supposer qu'il offre, comme celui qu'on observe dans les deltas, une disposition stratifiée; car, dans l'un et dans l'autre cas, les dépôts sont successifs, et, pour la plupart, interrompus. La dégradation des falaises sur la côte d'Angleterre n'a lieu, pour ainsi dire, que pendant les mois d'hiver; de sorte que les eaux courantes marines sont, comme celles des continents, périodiquement et alternativement pures et chargées de sédiment.

Digitized by Google

CHAPITRE X.

ENFOUISSEMENT DE FOSSILES DANS LA TOURBE, DANS LES SABLES MOUVANTS TRANSPORTÉS PAR LE VENT, ET DANS LES ÉJECTIONS VOLCANIQUES.

Division du sujet. — Enfouissement de débris organiques dans des dépôts formés sur un sol émergé. — Origine de la tourbe. — Emplacement d'anciennes forêts, en Europe, actuellement occupé par des tourbières. — Minerai de fer limoneux. — Conservation de substances animales dans la tourbe. — Quadrupèdes embourbés dans une tourbière, ou dans un sol marécageux. — Débordement du Solway-Moss. — Enfouissement de corps organisés et de débris humains dans des sables transportés par le vent. — Sables mouvants des déserts d'Afrique. — Opinion de Deluc sur leur origine récente. — Ensevelissement du temple d'Ibsamboul. — Cadavres desséchés dans les sables. — Villes englouties par des inondations de sable. — Enfouissement de débris organiques et autres dans des formations volcaniques accumulées sur la terre ferme.

Division du sujet. — Nous allons étudier maintenant le mode suivant lequel les débris d'animaux et de plantes passent à l'état fossile, ou sont

Digitized by Google

enfouis dans la terre par suite de causes naturelles. M. Constant Prévost a observé que les effets résultant des causes géologiques peuvent se diviser en deux grandes classes : d'une part, ceux qui se produisent à la surface des continents pendant leur submersion, et, d'autre part, ceux qui ont lieu après leur émersion. En adoptant cette classification, je considérerai d'abord comment des débris d'animaux et de végétaux s'enfouissent et se conservent dans les dépôts formés sur des terres émergées, ou sur cette partie de la surface qui n'est pas *constamment* couverte par l'eau des mers ou des lacs; puis j'examinerai comment a lieu leur ensevelissement dans les dépôts sous-aqueux.

Dans la première division je traiterai des sujets suivants : 1° du mode de production de la tourbe, et de la manière dont s'y conservent les débris d'animaux et de végétaux; 2° de l'ensevelissement de débris organiques dans diverses accumulations, telles que — les sables transportés par le vent, — les éjections et les alluvions volcaniques, — toutes les alluvions en général, et les amas de ruines provenant d'éboulements, — la boue et les stalagmites qui se trouvent dans les cavernes et dans les fissures.

Digitized by Google

Mode de production de la tourbe, et manière dont s'y conservent les débris d'animaux et de végétaux. — La production de la tourbe, quand elle ne s'opère pas complétement sous l'eau, n'a lieu que dans des endroits humides, où la température est peu élevée, et où les végétaux peuvent se décomposer sans se corrompre. Les plantes nombreuses, susceptibles de croître dans de telles *stations*, concourent toutes à la formation de la tourbe ; mais une certaine espèce de mousse (*Sphagnum palustre*) constitue une très grande partie de celle qu'on trouve dans les marais du nord de l'Europe ; cette plante a la propriété de produire de nouvelles tiges à sa partie supérieure, tandis que ses extrémités inférieures se pourrissent (*). Des roseaux, des joncs, et diverses autres plantes aquatiques se rencontrent souvent dans la tourbe, dans un tel état de conservation, qu'on peut facilement reconnaître les différentes espèces auxquelles elles appartiennent.

Analyse de la tourbe. — En général, dit Sir H. Davy, cent parties de tourbe sèche contiennent de

(*) Voir le catalogue des plantes qui contribuent à la production de la tourbe dans l'ouvrage du Dr Rennie, « On Peat » (sur la Tourbe), p. 171-178 ; et dans celui du Dr Mac Culloch, intitulé : « Western Isles » (les Hébrides), vol. I, p. 129.

soixante à quatre-vingt-dix parties de matière attaquable par le feu; et le résidu consiste en terres chargées d'oxide de fer, et de même nature, ordinairement, que la couche d'argile, de marne, de gravier, ou de toute autre espèce de roche sur laquelle repose la tourbe. Le même auteur a remarqué que la tourbe des régions crayeuses de l'Angleterre contient beaucoup de gypse; mais il en a trouvé fort peu dans les échantillons provenant de l'Irlande et de l'Écosse; ces tourbes, en général, ne renferment qu'une fort petite quantité de matière saline (*). D'après les recherches du docteur Mac Culloch, il paraît que la tourbe est l'intermédiaire entre la matière végétale simple et le lignite. Sa conversion en lignite s'opère graduellement, et résulte de l'action prolongée de l'eau (**).

Abondance de la tourbe dans les climats froids et humides. — La production de la tourbe a lieu quelquefois sur les déclivités humides des régions montagneuses; mais dans de telles situations, son épaisseur n'exc de jamais, ou du moins elle surpasse rarement quatre pieds (1m,20). Dans les marais et

(*) Irish Bog Reports (Rapports sur les Tourbières de l'Irlande), p. 209.

(**) System of Geology (Système de Géologie), vol. II, p. 353.

Digitized by Google

dans les terrains bas où la tourbe alluviale est transportée, elle a ordinairement quarante pieds (12m,20), et même plus d'épaisseur ; mais dans ce cas elle doit, en général, la moitié de son volume à l'eau qu'elle contient. Rarement, ou même jamais, peut-être, on n'en a trouvé entre les tropiques : elle est aussi très rare dans les vallées, dans celles mêmes du sud de la France et de l'Espagne. Non seulement elle abonde de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur ; mais elle devient plus fréquente encore et plus facilement combustible dans les latitudes septentrionales (*).

Le même phénomène se reproduit dans l'hémisphère austral. On ne trouve point de tourbe dans le Brésil, ni même dans les parties marécageuses de la contrée qu'arrose La Plata du côté oriental de l'Amérique du Sud, ou dans l'île de Chiloe, à l'ouest ; mais lorsqu'on atteint le 45e degré de latitude, et qu'on explore l'archipel des Chonos ou les îles Falkland, et la Terre de Feu, on la rencontre en très grande abondance. Là, presque toutes les plantes, et même les herbes, contribuent par leur décomposition à la production de la tourbe ; mais, dit M. Darwin, il est un fait à remarqner, par le contraste qu'il offre avec ce qui a lieu en Europe :

(*) Rev. Dr Rennie « on Peat, » p. 260.

Digitized by Google

c'est qu'aucune espèce de mousse ne concourt à la formation de la tourbe de l'Amérique méridionale, qui, pourtant, se compose d'un grand nombre de plantes, mais principalement de celle que Brown a désignée sous le nom d'*Astelia pumila* (*).

Étendue de la surface couverte par la tourbe. — La tourbe occupe en Europe une vaste étendue; en Irlande, elle recouvre, dit-on, un dixième de l'île. Une des tourbières situées sur les bords du Shannon a, suivant le docteur Boate, cinquante milles (18l) de long, sur deux ou trois (1l environ) de large; et le grand marais de Montoire, près de l'embouchure de la Loire, est cité par Blavier comme ayant plus de cinquante lieues de tour. On rapporte aussi, comme un fait curieux et bien constaté, que plusieurs des tourbières du nord de l'Europe occupent la place de forêts de pins et de chênes dont quelques unes ont disparu depuis les temps historiques. De tels changements résultent de la chute des arbres et de la stagnation de l'eau, occasionnée par l'obstacle que les troncs et les branches de ces arbres opposent au libre écoulement des eaux atmosphériques, qui, ainsi retenues, donnent naissance à un marais. Dans un climat chaud, ces débris de bois seraient

(*) Darwin's Journal, p. 349.

Digitized by Google

bientôt détruits par les insectes, ou décomposés; mais dans le climat froid qui règne aujourd'hui sous nos latitudes, plusieurs marais doivent leur origine à la cause qui vient d'être indiquée. Ainsi, dans la forêt de Mar (Aberdeenshire), de grands troncs de sapins d'Écosse, qui étaient tombés de vieillesse et de dépérissement, furent bientôt enfouis dans la tourbe, composée en partie de leurs feuilles et de leurs branches mortes, et en partie d'autres plantes qui s'étaient développées plus tard. Le renversement d'une forêt occasioné par un orage, vers le milieu du XVIIe siècle, donna aussi naissance à un marais près de Lochbroom, dans le Ross-shire, où, moins d'un demi-siècle après la chute des arbres, les habitants purent extraire de la tourbe (*). Le docteur Walker cite une transformation semblable due à la destruction du bois de Drumlanrig, dans le Dumfries-shire, qui eut lieu en 1756, par suite d'un grand vent. Ces événements expliquent l'existence, tant en Angleterre que sur le continent, de tourbières où tous les arbres sont rompus à deux ou trois pieds (60 ou 90^c) de la surface primitive, et où leurs troncs se trouvent tous placés dans la même direction (**).

Toutefois on peut supposer, dans ces différents

(*) Dr Rennie's Essays (Essais du Dr Rennie), p. 65.
(**) Id., p. 30.

Digitized by Google

cas, que le sol n'avait plus une force suffisante pour que les arbres pussent y acquérir leur entier développement, et que, d'après le principe de la rotation qui est propre au règne végétal, lorsqu'un assemblage de plantes venait à s'éteindre, un autre lui succédait. Il est à remarquer que dans les îles danoises, ainsi que dans le Jutland et dans le Holstein, on trouve, au fond des tourbières, du bois provenant de diverses espèces de sapins, entre autres du sapin d'Écosse, quoiqu'il soit bien constaté que pendant les cinq siècles derniers aucun conifère n'a vécu à l'état sauvage dans ces contrées, les arbres de cette famille qu'on y observe aujourd'hui ayant tous été plantés vers la fin du siècle dernier.

Rien n'est plus ordinaire que la présence d'arbres enfouis dans le fond des tourbières d'Irlande, ainsi que dans la plupart de celles qui existent en Angleterre, en France et en Hollande. On y a si souvent observé des fragments de troncs encore debout, et ayant leurs racines fixées dans le sous-sol, que l'on ne peut douter que ces arbres aient vécu dans le lieu même où on les trouve. Ils consistent, pour la plupart, en sapins, en chênes et en bouleaux; mais ce sont les chênes qui dominent quand le sol inférieur est argileux, et les sapins lorsqu'il est sableux. Le marais de Currangh, dans l'île de Man, offre à la vue de grands arbres qui se tiennent

Digitized by Google

debout sur leurs racines, quoique se trouvant à la profondeur de dix-huit ou vingt pieds (5m,50 à 6m) au-dessous de la surface. Quelques naturalistes ont cru devoir attribuer l'enfouissement des bois dans les tourbières au transport opéré par l'eau courante, en raison de ce fait bien connu que les rivières amènent du bois dans les lacs; mais les exemples qui viennent d'être cités montrent que dans beaucoup de cas cette hypothèse est inadmissible. On a, de plus, remarqué qu'en Écosse, ainsi que sur certains points du continent, c'est dans les tourbières situées aux niveaux les plus bas que se trouvent les plus grands arbres, et que les plus petits, au contraire, se rencontrent dans celles qui occupent des points plus élevés; — circonstance de laquelle Deluc et Walker ont conclu que les arbres vécurent sur les lieux mêmes où on les observe, ayant dû naturellement atteindre de plus grandes dimensions dans les régions les plus basses et les plus chaudes. Les feuilles et les fruits de chaque espèce, par exemple les fruits du noisetier, les feuilles et les glands du chêne, les cônes et les feuilles du sapin, se trouvent toujours aussi, dans les tourbières, près des arbres auxquels ils ont appartenu.

Origine récente de quelques tourbières. — Dans la tourbière de Hatfield (Yorkshire), qui paraît évi-

Digitized by Google

demment avoir été une forêt il y a dix-huit cents ans, on a trouvé des sapins de quatre-vingt-dix pieds (27^{m},50) de long, que l'on a vendus pour en faire des mâts et des quilles de vaisseaux. On y a aussi rencontré des chênes dont la longueur dépassait cent pieds (30^{m},50). Le n° 275 des *Transactions philosophiques* donne les dimensions d'un de ces chênes qui doit avoir été plus grand qu'aucun arbre existant aujourd'hui dans les États britanniques.

On a découvert dans cette même tourbière de Hatfield, ainsi que dans celle de Kincardine, en Écosse, et dans quelques autres encore, des routes romaines, à la profondeur de huit pieds (2^{m},53). Les pièces de monnaie, les haches, les armes et les autres objets trouvés dans les tourbières d'Angleterre et de France, sont aussi d'origine romaine, ce qui prouve que la formation d'un grand nombre des tourbières d'Europe ne date pas d'une époque plus ancienne que le siècle de Jules-César. On n'a pu découvrir d'autres traces des forêts décrites par ce général, comme se prolongeant, de son temps, le long de la grande voie romaine qui existait dans la Grande-Bretagne, que les troncs d'arbres qui se trouvent dans la tourbe.

Deluc a constaté que l'emplacement des forêts aborigènes anciennement désignées sous les noms d'Hercynia, de Semana, des Ardennes, et de plu-

sieurs autres, est occupé maintenant par des marais et des tourbières; et il paraît extrêmement probable qu'une grande partie de ces changements doivent être attribués aux ordres exprès donnés par Sévère, et par quelques autres empereurs, d'abattre tous les bois dans les provinces conquises. Cependant plusieurs des forêts de la Grande-Bretagne, qui sont aujourd'hui à l'état de tourbières, furent coupées à différentes époques, par ordre du Parlement anglais, parce qu'elles servaient de refuge aux loups et aux proscrits. C'est ainsi que les bois du pays de Galles furent coupés et brûlés, sous le règne d'Édouard Ier, et qu'Henri II fit détruire ceux d'Irlande, pour empêcher les habitants d'y trouver un abri et de harceler ses troupes.

C'est une chose qui mérite de fixer l'attention des esprits réfléchis que le résultat de pareils actes, qui, en rendant à jamais stériles des étendues considérables de terrain en Europe, à une époque où la civilisation était pourtant en voie de progrès, contribuèrent, par le fait de l'homme, à nuire à ses propres besoins. Rennie observe avec justesse que ce n'est que dans les régions où l'aigle romaine ne pénétra point, c'est-à-dire dans les cercles éloignés de l'Empire Germanique, en Pologne, en Prusse, et surtout en Norwége, en Suède, et dans le vaste empire de Russie, qu'il est possible de juger ce

qu'était l'Europe avant qu'elle tombât au pouvoir de Rome (*). Aujourd'hui, la désolation règne où jadis prospéraient d'immenses forêts de chênes et de sapins, — forêts telles qu'elles pourraient alimenter de bois de construction toutes les marines actuelles de l'Europe.

Origine du minerai de fer limoneux. — Au fond des tourbières il se trouve quelquefois une croûte d'oxide de fer, qu'on désigne sous le nom de « cake » (galette) ou « pan » (cuvette), et la fréquente rencontre du minerai de fer limoneux est un fait bien connu des minéralogistes. Le chêne que l'on trouve si souvent coloré en noir dans la tourbe doit cette couleur au même métal. L'origine du fer a souvent été mise en discussion; mais les découvertes d'Ehrenberg semblent enfin avoir résolu la question. Il avait observé dans les marais voisins de Berlin une substance d'un jaune d'ocre foncé, tirant sur le rouge, qui couvrait le fond des fossés, et qui, dans les endroits où elle se trouvait à sec par suite de l'évaporation de l'eau, offrait tout-à-fait l'apparence de l'oxide de fer. Mais M. Erhenberg reconnut que, vue au microscope, elle consistait en filaments minces et articulés formant les carapaces, en partie siliceuses et en partie ferrugineuses, d'un infusoire appelé

(*) Essays, etc., p. 74.

Digitized by Google

Gaillonella ferruginea (*). Il n'est donc guère possible de douter que le minerai de fer limoneux ne soit un agrégat composé de millions de ces carapaces infusoires invisibles à l'œil nu (**).

Conservation des substances animales dans la tourbe. — Une circonstance intéressante qui se rattache à l'histoire des tourbières est l'état de conservation, vraiment extraordinaire, dans lequel s'y maintiennent les substances animales pendant des périodes d'un grand nombre d'années. En juin 1747, le corps d'une femme fut trouvé à six pieds (1m,82) de profondeur dans un marais tourbeux de l'île d'Axholme (Lincolnshire). Les sandales antiques qui recouvraient ses pieds offraient la preuve évidente de son enfouissement dans ce lieu depuis plusieurs siècles; et cependant ses ongles, ses cheveux et sa peau sont décrits comme ayant à peine offert quelques traces d'altération. Un autre squelette humain fut découvert en Irlande, dans la terre du comte de Moira; il était enfoncé d'un pied (30c) dans une couche de gravier, que recouvrait une masse de tourbe de onze pieds (3m,30) d'épaisseur. Ce corps était complétement habillé, et les vête-

(*) En voir la figure dans les « Éléments de Géologie, » par l'auteur du présent ouvrage; p. 59, planche 16.

(**) Ehrenberg, Taylor's Scientific. Mem. (Mém. Scientifiques de Taylor), vol. 1, part. III, p. 402

Digitized by Google

ments qu'il portait paraissaient être en poil. Avant que l'usage de la laine fût connu dans cette contrée, les habitants employaient, pour se vêtir, des étoffes de poil, de sorte qu'il y a lieu de croire que l'ensevelissement du corps en question remontait à cette époque éloignée, malgré l'état parfait de conservation dans lequel il se trouvait (*). Les *Transactions philosophiques* font mention de deux corps qui, après avoir séjourné vingt-huit ans et neuf mois dans une tourbe humide où ils avaient été enterrés à un mètre de profondeur, en 1674, dans le Derbyshire, furent trouvés dans un état tel que « la couleur de leur peau était aussi bien conservée, et leur chair aussi molle que celle d'individus morts récemment (**). »

Parmi d'autres faits analogues, nous citerons encore celui-ci : en creusant un puits près de Dulverton, dans le Somersetshire, on trouva plusieurs porcs encore entiers, et qui avaient conservé leur forme ; la peau, à laquelle tenaient encore les poils, était devenue sèche et membraneuse. Leur chair se trouvait convertie en une matière blanche, friable, laminée, inodore et insipide, mais qui, lorsqu'on l'exposait à la chaleur, émettait une odeur semblable à celle du lard grillé (***).

(*) Dr Rennie, Essays, etc., p. 521, où plusieurs autres exemples sont cités.

(**) Phil. Trans., vol. XXXVIII, 1734.

(***) Dr Rennie, Essays, etc., p. 521.

Digitized by Google

Cause de la propriété antiseptique de la tourbe. — On se demande naturellement d'où vient cette propriété antiseptique de la tourbe. Quelques auteurs l'ont attribuée aux acides carbonique et gallique qui se dégagent du bois pourri, ainsi qu'à la présence du bois à l'état de charbon dans les couches inférieures de certains marais tourbeux, le charbon de bois étant un antiseptique très puissant, capable de rendre à l'eau déjà corrompue sa pureté primitive. Les résines et les gommes végétales peuvent agir aussi de la même manière (*).

Le tannin qui se trouve quelquefois dans la tourbe est, suivant le docteur Mac Culloch, le produit de la tormentille et de plusieurs autres plantes; mais il y existe, dit-il, en trop petite quantité, et sa présence est trop fortuite pour donner lieu à des effets de quelque importance. Il suppose que les parties molles des corps d'animaux conservés dans la tourbe peuvent avoir été converties en adipocire par la seule action de l'eau, — explication qui peut s'appliquer à plusieurs des cas ci-dessus mentionnés (**).

« *Embourbement* » *de quadrupèdes dans un sol marécageux.*—La manière, toutefois, dont la tourbe contribue à conserver pendant des temps indéfinis

(*) Dr Rennie, Essays, etc., p. 531.
(**) Syst. of Geol., vol. II, p. 340-346.

Digitized by Google

les parties les plus dures d'animaux terrestres est un sujet qui offre au géologue l'intérêt le plus immédiat. L'enfouissement accidentel des animaux dans la tourbe des terrains marécageux a lieu de deux manières : tantôt ils s'enfoncent dans la boue à moitié liquide que recouvre une surface tourbeuse sur laquelle ils se sont imprudemment aventurés ; d'autres fois, une tourbière se déchire, « fait éruption, » et, par suite, des animaux peuvent se trouver enveloppés dans l'alluvion tourbeuse (*).

On trouve quelquefois dans les vastes marais de Terre-Neuve des bestiaux enterrés jusqu'au cou, qui, après être restés pendant plusieurs jours dans cette situation, en sont retirés vivants à l'aide de cordes. De même, en Écosse, le bétail qui s'aventure sur le sol tremblant des marécages y reste souvent « embourbé ; » et, suivant M. King, le nombre de bestiaux qui, en Irlande, se trouvent engloutis dans les tourbières est réellement incroyable (**).

Solway-Moss. — La description suivante du Solway-Moss peut donner une idée du caractère général de ces terrains marécageux. Ce marais, situé sur les confins occidentaux de l'Angleterre et

(*) Voyez chap. XII, vol. IV du présent ouvrage.
(**) Phil. Trans., vol. XV, p. 949.

Digitized by Google

de l'Ecosse, consiste, dit Gilpin, en une étendue plate, de sept milles (2' $\frac{1}{2}$) environ de circonférence. Sa surface, couverte d'herbes et de joncs, offre à la vue un coup-d'œil des plus agréables, et présente l'aspect d'un terrain solide ; mais à la moindre pression cette surface oscille, tremble, le fond qu'elle recouvre étant à l'état de décomposition et à demi liquide : aussi le voyageur hardi qui, dans les temps de sécheresse, traverse ce dangereux espace pour s'épargner quelques milles de chemin, a-t-il soin de ne pas s'écarter des touffes de joncs qu'il rencontre de distance à autre, parce que, sur ces points, le sol est plus ferme qu'ailleurs. Si son pied vient à glisser, ou s'il se risque à abandonner ce signe de salut, malheur à lui, car il se peut alors qu'on n'entende plus parler de lui.

« A la bataille de Solway, qui eut lieu en 1542, sous Henri VIII, lorsque l'armée écossaise, commandée par Olivier Sainclair, fut mise en déroute, une compagnie de cavalerie, entraînée par la frayeur, se précipita dans ce marais, qui, après l'avoir engloutie, se referma sur elle à l'instant. Ce récit fut, pendant longtemps, considéré comme une simple légende traditionnelle ; mais il est devenu authentique depuis qu'un homme et son cheval, complétement équipés, ont été trouvés par des ouvriers employés à extraire la tourbe, dans le lieu même où

Digitized by Google

l'on avait toujours supposé que ce malheur était arrivé. Les deux squelettes étaient bien conservés, et les différentes parties de l'armure du cavalier se reconnaissaient aisément (*). »

Le 16 décembre 1772, ce même marais, ayant été rempli d'eau pendant de grandes pluies, s'éleva à une hauteur extraordinaire et déborda. Un courant de boue noire à moitié solide commença d'abord à s'étendre sur la plaine, à la manière d'un courant de lave ordinaire. Aucun habitant ne perdit la vie, mais l'inondation détruisit entièrement plusieurs chaumières, et recouvrit une étendue de quatre cents acres (162 hectares). Les parties les plus élevées du marais primitif s'abaissèrent à la profondeur d'environ vingt-cinq pieds (7^{m},62); et sa hauteur, dans les parties les plus basses du pays qu'il envahit, était de quinze pieds (4^{m}, 57) au moins.

Déchirement d'une tourbière en Irlande. — Une inondation récente, qui eut lieu en janvier 1831, dans le comté de Sligo, fournit un autre exemple de ce phénomène. Après une fonte subite de neige, la tourbière, située entre Bloomfield et Geevah, fit éruption. Alors un flot noir amenant avec lui toutes les matières contenues dans un marais de cent acres

(*) Gilpin, Observ. on Picturesque Beauty, etc. (Observ. sur la Beauté pittoresque, etc.), 1772.

Digitized by Google

(40 hectares $\frac{1}{2}$) d'étendue prit la direction d'un petit courant, et roulant avec la violence d'un torrent, entraîna en même temps bruyères, bois, boue et pierres. Il se répandit aussi sur des terres labourables et sur des prairies. En traversant un terrain marécageux, il détruisit un ravin très large et très profond, et une partie de la route conduisant de Bloomfield à St-James's Well fut complétement emportée sur une largeur de 200 mètres.

Ossements de quadrupèdes herbivores observés dans la tourbe. — Les andouillers de grands cerfs ayant atteint leur entière croissance figurent très souvent parmi les débris d'animaux que l'on rencontre dans la tourbe. Ce qui prouve que ces bois ne sont pas tombés par l'effet du rut, mais après la mort des individus auxquels ils appartenaient, c'est que fréquemment des portions de crâne y adhèrent encore. On rencontre aussi dans la tourbe des ossements de bœufs, de cochons, de chevaux, de moutons, et de plusieurs autres herbivores. A ces débris sont mêlés, en Irlande et dans l'île de Man, des squelettes d'un élan gigantesque. M. Morren a découvert, dans la tourbe de Flandre, des ossements de loutres et de castors (*); mais on n'a trouvé dans les tourbières aucun débris apparte-

(*) Bulletin de la Soc. Géol de France, tom. II, p. 26.

Digitized by Google

nant aux quadrupèdes éteints dont les congénères vivants habitent les latitudes chaudes, tels que l'éléphant, le rhinocéros, l'hippopotame, l'hyène et le tigre, quoique les restes de ces animaux soient pourtant très communs dans les dépôts superficiels de vase, de boue, de sable ou de stalactite qu'on rencontre en divers districts de la Grande-Bretagne. Or, leur absence, dans ces dépôts, semble impliquer la conséquence qu'ils avaient cessé d'exister avant que l'atmosphère de cette partie du monde eût acquis le degré de froid et d'humidité qui convient au développement de la tourbe.

Débris de vaisseaux, etc., trouvés dans les tourbières. — D'après les faits qui viennent d'être rapportés, et qui montrent que les tourbières font quelquefois éruption, et descendent, à l'état liquide, à des niveaux plus bas que leur niveau normal, on comprend aisément que des lacs et des bras de mer puissent accidentellement servir de réceptacles à des tourbes transportées. C'est, du reste, ce que prouvent de nombreux exemples, et ce que confirment les alternances d'argile et de sable avec divers dépôts de tourbe, que l'on rencontre si souvent sur quelques côtes, comme celles de la Baltique et de la mer du Nord. Deguer nous apprend que des débris de vaisseaux, des instruments nautiques et des

Digitized by Google

rames ont été trouvés dans plusieurs tourbières de la Hollande ; et Gérard, dans son *Histoire de la Vallée de la Somme*, rapporte que dans la partie la plus basse d'une des tourbières de cette vallée, on découvrit un bateau chargé de briques, — circonstance qui prouve qu'à une certaine époque ces tourbières formaient des bras de mer et des lacs navigables. Telles furent aussi jadis plusieurs tourbières situées sur les côtes de la Picardie, de la Zélande et de la Frise, d'où l'on extrait de la soude et du sel (*). Les canots, les pointes de flèches et les haches en pierre que l'on trouve dans la tourbe, en différentes parties de la Grande-Bretagne, conduisent à de pareilles conclusions.

Enfouissement de débris humains et autres, ainsi que d'ouvrages d'art, dans les sables mouvants transportés par le vent.

Le transport du sable peut être rangé aussi parmi les causes qui contribuent à la conservation des débris organiques et des ouvrages d'art à la surface des continents.

Sables d'Afrique. — Les sables des déserts de l'Afrique ont été poussés par les vents d'ouest sur la

(*) Dr Rennie, Essays on Peat-Mosses (Essai sur les Tourbières, par le Dr Rennie), p. 205.

Digitized by Google

rive occidentale du Nil, en certains points des terres cultivables de l'Égypte, où des vallées s'étendent dans la plaine, ou bien dans des endroits où les montagnes de la Libye se trouvent traversées par des gorges. C'est aussi par suite de semblables déplacements de sable que les ruines de plusieurs villes anciennes ont été englouties entre le temple de Jupiter Ammon et la Nubie. M. G. A. Deluc a tenté de conclure que l'origine de nos continents était récente, de ce fait que les sables mouvants n'ont atteint les plaines fertiles du Nil que dans les temps modernes seulement. Le même fléau, dit-il, aurait affligé l'Égypte pendant des siècles avant les temps historiques, si les continents avaient été dès lors élevés au-dessus du niveau de la mer (*). Mais en ceci, comme dans toutes ses autres computations chronologiques, l'auteur n'a procédé que d'après une foule de suppositions gratuites. Il aurait dû démontrer, d'abord, qu'à une certaine époque l'Afrique entière se trouvait à un niveau supérieur à celui de la mer; car, à moins que ce point ne soit bien établi, on peut croire que la région d'où les sables ont commencé à se mouvoir a été la dernière addition faite à l'Afrique, et que le commencement de l'inondation de sable a eu lieu longtemps après la mise à sec

(*) M. G. A. Deluc, Mercure de France, Sept. 1809.

Digitized by Google

de la plus grande portion de ce continent. On admet généralement aujourd'hui que les différentes parties de l'Europe n'ont pas toutes été élevées à la même époque. Deluc aurait dû aussi indiquer la profondeur du sable accumulé en divers points des grands déserts de la Libye, et dire si quelques vallées considérables ont été comblées — pendant combien de temps celles-ci peuvent avoir arrêté la marche des sables, et jusqu'où l'inondation peut, au total, s'être avancée depuis les temps historiques.

Sir J. G. Wilkinson pense, ainsi que nous l'avons déjà vu, que, tandis que les sables mouvants empiètent en certains points sur le sol fertile de l'Égypte, le dépôt alluvial du Nil s'avance d'une manière très générale sur le désert, et qu'en somme la balance l'emporte de beaucoup en faveur du limon fertilisant (*).

On ne peut concevoir aucun mode d'ensevelissement plus favorable à la conservation des monuments pendant un laps de temps considérable, que celui que l'on a aujourd'hui si souvent occasion d'observer dans la région située immédiatement à l'ouest du Nil. Le sable qui entourait et remplissait le grand temple d'Ibsamboul, découvert d'abord par Burckhardt, et ensuite, partiellement, par Belzoni et par

(*) Voyez chapitre v du présent volume.

Digitized by Google

Beechey, était assez fin pour être comparé à un liquide en mouvement. Ni les traits des figures colossales, ni la couleur du stuc qui en recouvrait quelques unes, ni les peintures qui décoraient les murs, n'avaient souffert du contact de la poussière sèche et impalpable dont, pendant plusieurs siècles, elles étaient restées enveloppées (*).

A quelque époque future, comme celle peut-être où les pyramides seront détruites, l'action de la mer, ou un tremblement de terre pourra mettre au jour quelques uns de ces temples engloutis. D'un autre côté, on peut supposer que le désert n'éprouvera aucun dérangement, et que des changements dans la configuration de la mer et de la terre ferme environnantes donneront lieu à des modifications dans le climat et dans la direction des vents dominants, telles qu'alors ceux-ci pourraient éloigner les sables Libyens de ces régions, dans un laps de temps égal à celui qu'à une autre époque ils auraient mis à les y amener. Plusieurs villes et plusieurs temples d'une antiquité plus grande encore que Thèbes et que Memphis pourraient ainsi reparaître dans leur intégrité primitive, et par suite, une partie de l'obscurité qui entoure l'histoire des nations anciennes se trouverait dissipée.

On assure que des caravanes entières ont été en-

(*) Stratton, Ed. Phil. Journ., nº V, p. 62.

Digitized by Google

glouties par les sables de la Libye ; et Burckhardt rapporte « que lorsqu'une fois on a passé l'Akabah, près de l'extrémité septentrionale de la Mer Rouge, des ossements de chameaux sont les seuls guides du pèlerin à travers les déserts de sable. » — « Nous ne vîmes, « dit le capitaine Lyon en parlant d'une plaine située près des monts Soudah, dans l'Afrique septentrionale, « nulle trace de végétation ; mais nous rencontrâmes plusieurs squelettes d'animaux qui étaient morts de fatigue dans le désert, et quelques tombes renfermant des débris humains. Tous ces corps étaient desséchés à tel point par la chaleur du soleil que la putréfaction semblait n'avoir pu s'y développer. Il me fut impossible de trouver dans les animaux morts récemment la trace de la plus légère odeur putride ; et dans ceux qui avaient cessé de vivre depuis longtemps, la peau, encore couverte de son poil, restait entière et inaltérée : toutefois elle était devenue si cassante que le moindre choc suffisait pour la briser. Les tempêtes de sable n'occasionnent jamais le déplacement de ces corps, par la raison qu'en peu de temps un léger monticule se trouve formé autour d'eux et les rend stationnaires (*). »

(*) Travels in North Africa in the years 1818, 19 and 20 (Voyages dans l'Afrique septentrionale, pendant les années 1818, 19 et 20), p. 83.

Digitized by Google

Villes englouties par des inondations de sable. — On cite en France, en Angleterre et dans le Jutland, plusieurs villes et plusieurs villages qui ont été engloutis par des sables transportés par le vent. C'est ainsi que, près de Saint-Pol-de-Léon, en Bretagne, tout un village fut enterré sous des sables mouvants, et cela d'une manière si complète que l'on n'apercevait plus que la flèche de l'église (*). Dans le Jutland, des coquilles de mer adhérant à des plantes marines sont quelquefois lancées, par la force du vent, jusqu'à la hauteur de cent pieds (30^{m}, env.), et enterrées dans des collines de sable semblables.

En 1688, une partie de la ville de Downham, dans le Suffolkshire, fut engloutie par des sables qui, à peu près cent ans auparavant, s'étaient détachés d'une garenne située à cinq milles (1 $\frac{3}{4}$ l.) au sud-ouest de ce lieu. Ce sable avait donc, dans l'espace d'un siècle, parcouru une distance de cinq milles, et couvert plus de mille acres (405 hectares env.) de terrain (**). Sur la côte septentrionale du Cornouailles, une étendue considérable de terre cultivée fut inondée par des sables mouvants, qui formèrent des collines

(*) Mém. de l'Acad. des Sc. de Paris, 1772. — Voyez aussi l'ensevelissement de l'église d'Eccles, cité p. 258 du présent volume.

(**) Phil. Trans., vol. II, p. 722.

Digitized by Google

de plusieurs centaines de pieds au-dessus du niveau de la mer ; ces sables sont composés de coquilles marines pulvérisées, parmi lesquelles se trouvent quelques coquilles terrestres entières. Par suite du déplacement de ces sables, les ruines de plusieurs bâtiments anciens ont été mises à découvert ; et quelquefois, lorsque, pour pratiquer des puits, on creuse le sol à une grande profondeur, on aperçoit des couches distinctes, séparées par une croûte végétale. En quelques lieux, comme à New Quay, des masses considérables de ce sable sont devenues assez dures pour être employées à des travaux d'architecture. La pétrification, qui est toujours en voie de se produire, semble due à l'oxide de fer que tient en solution l'eau qui coule à travers le sable (*).

Enfouissement de débris organiques et autres dans des formations volcaniques accumulées sur la terre ferme.

D'après les faits qui seront exposés dans les chapitres III et IV de la troisième partie de cet ouvrage, au sujet des villes qui ont été englouties,

(*) Boase on Submersion of Part of the Mount's Bay, etc. Trans. Roy. Geol. Soc. of Cornwall. (Sur la submersion d'une partie du Mount's Bay, etc., par Boase ; Transactions de la Société royale géologique du Cornouailles), vol. II, p. 140.

Digitized by Google

soit dans les environs de Naples, soit sur les flancs de l'Etna, on verra que la conservation des débris humains et des ouvrages d'art enfouis sous les matières volcaniques résulte souvent du passage de grandes inondations occasionnées par les pluies abondantes qui accompagnent les éruptions. Ces « laves aqueuses, » comme on les nomme en Campanie, coulent avec une très grande rapidité. En 1822, elles surprirent et étouffèrent sept personnes, ainsi que cela fut constaté, dans les villages de St.-Sebastiano et de Massa, sur les flancs du Vésuve.

Dans les tufs, ou limon solidifié, que déposent ces laves aqueuses, on a observé des empreintes de feuilles et d'arbres, dont quelques unes, formées après l'éruption du Vésuve de 1822, sont conservées dans le musée de Naples.

La lave elle-même peut devenir, indirectement, un moyen de conservation pour des débris terrestres, en recouvrant des lits de cendres, de ponce ou de toute autre matière émise par des volcans, et dans lesquels peuvent se trouver enfouis des animaux et des plantes, ou des débris humains. Il est peu de substances qui transmettent moins bien la chaleur que la poussière et les scories volcaniques, de sorte qu'il est très rare qu'un lit qui en est formé vienne à être fondu par un courant de lave surjacent.

Digitized by Google

Après sa solidification, la lave offre une protection très sûre aux matières plus légères et plus friables qu'elle recouvre; et dans lesquelles peuvent se trouver enfouis des débris organiques. Les tufs d'Herculanum renfermant des rouleaux de papyrus, dont les caractères sont encore lisibles, ont, ainsi qu'on le verra plus tard, été, pendant plusieurs siècles, recouverts par la lave.

La lave peut encore contribuer à la conservation des débris qu'elle ensevelit, de ceux, au moins, qui proviennent d'ouvrages d'art, quand elle ne possède pas un degré de chaleur très intense au moment où elle se répand sur eux; dans ce cas, ils n'éprouvent que fort peu d'altération, et même, quelquefois, on n'en aperçoit aucune trace.

Ainsi, lorsque le courant de lave qui s'échappa de l'Etna, en 1669, recouvrit quatorze villes et villages, et une partie de Catane, il ne fondit pas un grand nombre des statues et autres objets d'art que renfermaient les tombeaux de cette ville; et la profondeur de trente-cinq pieds (près de 11^{m}), la cloche d'une église et quelques statues furent trouvées intactes, dans le même courant, à l'endroit où s'élevait Mompilière, une des villes englouties (*).

(*) Voir vol. III, chap. IV, de la traduction du présent ouvrage.

Digitized by Google

L'Inde centrale renferme plusieurs villes enfouies qui, probablement, pourraient offrir aux antiquaires une moisson plus riche encore que celle qu'on a recueillie à Pompéi et à Herculanum (*). La ville d'Oujein (ou Oojain) était, environ cinquante ans avant l'ère chrétienne le siége de l'empire, des arts et des sciences; mais la tradition rapporte qu'au temps du rajah Vicramaditya, elle fut engloutie, avec plus de quatre-vingts autres grandes villes des provinces de Malvah et de Bagur, « par une pluie de terre. » La ville qui, aujourd'hui, porte le nom d'Oujein est située à un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) au sud de l'emplacement qu'occupait l'ancienne cité. En creusant à l'endroit où l'on suppose que s'élevait celle-ci, on a souvent découvert, à la profondeur de quinze ou dix-huit pieds ($4^m \frac{1}{2}$ ou $7^m \frac{1}{2}$), dit M. Hunter, des murs entiers de briques, des colonnes en pierre, des pièces de bois d'une dureté extraordinaire, divers ustensiles et des monnaies anciennes. On a trouvé aussi d'anciennes monnaies dans les canaux pratiqués par les pluies périodiques, et dans les lits des torrents où ces monnaies avaient été entraînées. « Pendant notre séjour à Oujein, un ouvrier, en fouillant le sol pour y chercher des briques, découvrit une grande quantité de

(*) Voyez vol. III, chap. III, du présent ouvrage.

Digitized by Google

blé, qui était, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, presque entièrement consumé, et dans un état qui le faisait ressembler au charbon de bois. Dans un ravin creusé par les pluies, et d'où plusieurs piliers en pierre avaient été extraits, je vis un espace de douze à quinze pieds (3m, 60 à 4m, 60) de long, sur sept ou huit (2m, 10 ou 2m, 40) de haut, entièrement rempli de fragments de vases de terre, liés très fortement ensemble. On suppose, avec beaucoup de probabilité, que c'était un four de potier. Entre ce lieu et la ville nouvelle on aperçoit le lit où, suivant la tradition, la rivière Sipparah coulait autrefois. Cette rivière, dont le cours changea de direction à l'époque où la ville fut engloutie, coule aujourd'hui vers l'ouest (*). »

Le sol qui couvre Oujein est décrit comme « étant d'une couleur gris de cendre, avec de petits points de sable noir (**). »

Quant à la « pluie de terre » que l'on dit être « tombée du ciel, » il est extrêmement probable qu'elle fut produite par une éruption volcanique, quoiqu'on n'ait eu aucun renseignement sur la position de l'ouverture par laquelle cette éruption s'o-

(*) Narrative of a Journey from Agra to Oujein, Asiatic Researches. (Narration d'un voyage d'Agra à Oujein, Recherches Asiatiques.) Vol. VI, p. 36.

(**) Asiatic Journal, vol. IX, p. 35.

Digitized by Google

péra. Le volcan le moins éloigné que nous connaissions est celui qui fit éruption pendant le tremblement de terre que l'on ressentit au Kotch, en 1819, et qui se trouve situé à trente milles (près de 11 l.) environ de Bhoudj, capitale du Kotch, et à trois cents milles géographiques (125 l.), au moins, d'Oujein.

Le capitaine F. Dangerfield, qui accompagna sir John Malcolm dans sa dernière expédition dans l'Inde centrale, a constaté que le canal de la rivière Nerbouddah, dans le Malvah, est creusé dans le balsate colomnaire, au-dessus duquel se trouvent des lits de marne imprégnée de sel. La partie supérieure de ces marnes est d'une couleur peu prononcée; elle a de trente à quarante pieds (9 ou 12^{m}) d'épaisseur, et repose horizontalement sur le lit inférieur dont la couleur est rougeâtre. D'après la description qui en a été faite, l'une et l'autre de ces couches semblent être des tufs composés de matériaux provenant de déjections volcaniques, et formant un manteau de soixante à soixante-dix pieds (18 à 21^{m}) d'épaisseur sur le basalte; qui paraît ressembler à quelques uns des courants de lave prismatique qu'on observe en Auvergne et dans le Vivarais. Vers le milieu de cette masse tufacée, c'est-à-dire à trente pieds (9^{m}, 14) au moins de la surface, et précisément à l'endroit où les deux lits de tuf se

Digitized by Google

rencontrent, le capitaine Dangerfield vit, près de la ville de Mhysir, des briques et de grands vases de terre, que l'on dit provenir de l'ancienne ville de ce nom, dont la destruction fut occasionnée par la catastrophe qui engloutit Oujein (*).

(*) Sir J. Malcom's Cent. Ind. (De l'Inde centrale, par sir J. Malcolm.) — Geol. of Malva, by Captain F. Dangerfield, App. (Géologie du Malvah, par le capitaine F. Dangerfield, App.), n° 11, p. 324, 325.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

ENFOUISSEMENT DE FOSSILES DANS LES DÉPÔTS ALLUVIENS ET DANS LES CAVERNES.

Enfouissement de fossiles dans les terrains d'alluvion. — Effets résultant d'inondations subites. — Du grand nombre d'animaux terrestres conservés dans les districts alluviens où se manifestent souvent des tremblements de terre. — Alluvion marine. — Ville engloutie. — Effets produits par des éboulements. — Débris organiques trouvés dans les fissures et dans les cavernes. — Forme et dimensions des cavernes. — De leur origine probable. — Bassins fermés et rivières engouffrées en Morée. — Katavothra. — Brèches formées avec un ciment rougeâtre. — Débris humains enlités en Morée. — Le mélange observé dans des cavernes du midi de la France et en d'autres contrées, de débris humains et d'ossements de quadrupèdes éteints, ne prouve pas l'ancienne co-existence de l'homme et de ces espèces perdues.

Alluvion. — D'après la division que nous avons adoptée, l'enfouissement des corps organisés dans l'alluvion doit faire actuellement l'objet de nos investigations.

Il est assez rare de trouver des débris d'animaux

Digitized by Google

ou de végétaux dans le gravier, dans le sable et dans le limon qui forment le lit des rivières; car la masse entière de ces divers matériaux se déplace si constamment, et leur frottement est tel, que ceux mêmes qui proviennent des roches les plus dures finissent par être réduits en poudre. Mais lorsque le sable et le sédiment se trouvent subitement entraînés par une inondation, et qu'ils se déposent ensuite sur la terre ferme, ils peuvent envelopper des arbres ou des débris d'animaux, qui s'y conservent souvent pendant longtemps. C'est ainsi qu'on a trouvé partiellement enfouis dans les dépôts de sable et de limon dus aux inondations qui, en 1829, eurent lieu en Écosse, des débris de lièvres, de lapins, de taupes, de souris, de perdrix et même de corps humains (*). Mais, dans ce cas, une inondation efface ordinairement les traces qu'a laissées la précédente, et il se trouve rarement une épaisseur suffisante de matière transportée qui n'ait éprouvé aucun dérangement, pour que les débris organiques qu'elle renferme soient préservés de la destruction pendant une durée de plusieurs siècles.

Dans les contrées où les niveaux sont sujets à

(*) Sir T. D. Lauder, on the great Floods in Morayshire (Sur les grandes Inondations qui eurent lieu dans le Morayshire, par sir T. D. Lauder), août, 1829, p. 177.

changer, et où les tremblements de terre sont fréquents, les restes d'animaux peuvent être, plus aisément qu'ailleurs, enfouis et garantis de la décomposition Si des portions de plaines que des inondations passagères ont couvertes d'atterrissements alluviens sont graduellement élevées, les débris organiques qui y sont enfouis peuvent, par suite de cette élévation, se trouver à l'abri du pouvoir érosif des courants. D'un autre côté, dans les régions où la circulation des eaux est souvent dérangée par des mouvements souterrains, chaque fissure, chaque dépression occasionnées par l'enfoncement du sol, devient un réceptacle de débris organiques et inorganiques, entraînés par des inondations passagères.

Alluvion marine. — En 1787, au mois de mai, un débordement considérable de la mer eut lieu à Coringa, à Ingeram et en plusieurs autres endroits, sur la côte de Coromandel, dans les Indes orientales, par suite d'un ouragan qui, soufflant du N.-E, éleva tellement les eaux qu'elles se précipitèrent dans l'intérieur des terres jusqu'à la distance d'environ vingt milles (7 l.) du rivage. Un grand nombre de villages furent détruits, et plus de 10,000 hommes se noyèrent. Les eaux, en se retirant, laissèrent le pays couvert d'un limon marin sur lequel on trouva près de 100,000 squelettes de

Digitized by Google

bêtes à cornes. Une ancienne tradition des naturels du pays, relative à une inondation semblable qui eut lieu près d'un siècle auparavant, avait, jusqu'à cet événement, été regardée comme une fable par les colons Européens (*). La côte de Coromandel devint encore, en mai 1832, le théâtre d'une autre catastrophe du même genre : quand les eaux s'abaissèrent, on vit des vaisseaux échoués sur les plaines de la région basse qui avoisine Coringa.

Plusieurs des orages qu'on désigne sous le nom d'ouragans sont liés évidemment avec les tremblements de terre sous-marins, ainsi qu'on peut en juger par les phénomènes atmosphériques qui les accompagnent, par les bruits qui viennent de l'intérieur de la terre, et par les vapeurs qui s'en exhalent : c'est ce qui fut observé lors du débordement de la mer qui eut lieu à la Jamaïque en 1780. Une vague énorme ravagea la côte occidentale de l'île; puis, éclatant sur Savannah-la-Mar, elle détruisit si complétement la ville en un instant, qu'aucun vestige d'homme, d'animal ou d'habitation ne put être retrouvé sur l'emplacement qu'elle occupait (**).

(*) Dodsley's Ann. Regist., 1788.

(**) Edwards, Hist. of West. Indies. (Hist. des Indes occidentales, par Edwards). Vol. I, p. 235, Ed. de 1801.

Digitized by Google

Maisons et ouvrages d'art découverts dans des dépôts alluviens. — Une ville souterraine très ancienne, et d'origine hindoue, suivant toute apparence, a été découverte dans l'Inde, en 1833, en creusant le canal de Doab. Cette ville, située au nord de Saharanpour, près de Behat, est à dix-sept pieds (5^{m},8) au-dessous de la surface actuelle du pays. Plus de 170 pièces de monnaie d'argent et de cuivre, ainsi que plusieurs objets en métal, et des poteries, y ont déjà été trouvés. Le dépôt qui les recouvrait consistait en un lit de sable de rivière, de cinq pieds (1^{m}, 52) environ d'épaisseur, reposant sur une couche d'argile rouge alluviale, dont la puissance était de douze pieds (3^{m}, 65) à peu près. Dans le voisinage, plusieurs rivières et plusieurs torrents descendent des montagnes, chargés d'une immense quantité de boue, de sable et de galets, et, d'après le témoignage de personnes encore vivantes, la ville moderne de Behat a été menacée par une inondation, dont les eaux, en se retirant, laissèrent le pays environnant couvert d'une couche de sable de plusieurs pieds d'épaisseur. En creusant des puits dans ces parages, on a rencontré, sous un dépôt de marne rougeâtre de trente pieds (9^{m}) de puissance, des masses de galets et des graviers semblables à ceux que l'on trouve aujourd'hui dans le lit des rivières de ce même district. Le capitaine

Digitized by Google

Cautley, qui dirigeait les travaux, en a conclu que les matériaux entraînés par les torrents avaient dû élever graduellement toute la partie du pays située à l'entour de la base des collines les moins hautes, et que l'ancienne ville, bâtie originairement dans un fond, avait été submergée par des inondations, et couverte d'une couche de sédiment de dix-sept pieds (5m, 18) d'épaisseur (*).

M. Boblaye nous a appris qu'en Morée, la formation dite « céramique, » et qui consiste en poteries, en tuiles et en briques, mélangées avec divers ouvrages d'art, entre pour une si grande part dans la composition de l'alluvion et du sol végétal des plaines de la Grèce, ainsi que dans celle des brèches dures et cristallines qu'on observe au pied de certaines déclivités, qu'elle constitue une strate importante qui pourrait, en l'absence de caractères zoologiques, servir à marquer notre époque d'une manière indestructible (**).

Eboulements.—Les éboulements qui précipitent subitement de grandes masses de roche et de terrain dans une vallée, engloutissent des multitudes d'animaux, et quelquefois des villages entiers avec leurs habitants et de nombreux troupeaux. C'est

(*) Journ. of Asiat. Soc., nos XXV et XXIX. 1834.
(**) Ann. des Sc. Nat., tome XXII, p. 117. Février 1831.

Digitized by Google

ainsi que dans la marche de Trévise, État de Venise, trois villages, avec toute leur population, furent couverts par les débris de la montagne de Piz, qui s'écroula en 1772 (*). En 1248, une partie du mont Grenier, au sud de Chambéry, en Savoie, tomba et engloutit cinq paroisses, y compris la ville et l'église de St-André. Les ruines occupaient une étendue d'environ neuf milles carrés (1, l. car. 18) (**).

Le nombre d'individus qui, dans l'année 1806, périrent par suite de l'éboulement du Rossberg, en Suisse, a été estimé à plus de huit cents, plusieurs villages, ainsi que des maisons isolées ayant été ensevelis avec une grande partie de leurs habitants, sous un amas considérable de boue et de débris de roche. Dans la même contrée, plusieurs centaines de chaumières, dix-huit personnes, et un grand nombre de vaches, de chèvres et de moutons furent engloutis par la chute subite des sommets des Diablerets, dont les débris formèrent une couche de trente mètres d'épaisseur. En 1618, le pays de Chiavenna, en Suisse, fut témoin d'un événement du même genre : une portion du mont Conto s'écroula et ensevelit le bourg de Pleurs, avec tous ses habitants, au nombre de 2,430.

(*) Précis de la Géographie universelle de Maltebrun, vol. I, p. 470. Paris, 1840.

(**) Bakewell, Travels in the Tarentaise (Voyage dans la Tarentaise, par Bakewell), vol. I, p. 201.

Digitized by Google

Il est inutile de multiplier les exemples de pareilles catastrophes locales, qui, toutes nombreuses qu'elles ont été dans les parties montagneuses de l'Europe, depuis les temps historiques, peuvent être considérées comme des événements peu fréquents, si on les compare à ceux du même genre qui ont eu lieu dans les régions bouleversées par des tremblements de terre. C'est alors que, même dans les contrées comparativement basses et unies, d'énormes masses de roche et de terre sont détachées des flancs des vallées, et tombent dans les lits des rivières d'une manière souvent si brusque, qu'elles surprennent et engloutissent, même pendant le jour, tous les êtres vivants qui se trouvent sur les plaines.

Conservation de débris organiques dans les fissures et dans les cavernes

Nous verrons, dans l'histoire des tremblements de terre, que plusieurs centaines de nouvelles fissures et d'abîmes, dont quelques uns sont décrits comme étant d'une immense profondeur, ont été produits en certaines régions, dans le cours des cent cinquante dernières années qui viennent de s'écouler. Nous verrons aussi que des masses montagneuses ont été violemment fracturées et disloquées pendant leur élévation au-dessus du niveau de la mer; et nous pourrons ainsi expliquer l'existence de grandes cavi-

Digitized by Google

tés dans l'intérieur de l'écorce terrestre par la simple action des tremblements de terre. Mais il y a quelques cavernes, particulièrement dans les roches calcaires, qui, bien qu'elles communiquent, sinon toujours, du moins ordinairement, avec quelque fente, tantôt s'étendent en vastes galeries, tantôt se contractent en passages étroits, et offrent de telles formes et de telles dimensions, qu'il est difficile de comprendre comment ces cavernes pourraient devoir leur origine à un simple déchirement et à un simple déplacement de masses solides.

Le calcaire de Kentucky, dans le bassin de la Rivière Verte, un des tributaires de l'Ohio, offre une ligne de cavités souterraines dont la limite est inconnue, quoiqu'on ait constaté qu'elle se prolonge sur un espace de dix milles (3 $\frac{1}{2}$ l. env.) dans la même direction. Une des chambres nombreuses qui forment ces souterrains, et qui toutes sont liées par d'étroits couloirs, n'a pas moins de dix acres (4 hect., 46) de superficie ; sa hauteur atteint jusqu'à cent cinquante pieds (près de 46 m.). Indépendamment de la série principale de ces « vastes cavernes, » il s'y rattache un grand nombre d'embranchements latéraux qui n'ont point encore été explorés (*).

(*) Mem. by Nahum Ward, Trans. of Antiq. Soc. of Massachusetts. (Mém. de Nahum Ward, Tran de la Société des Antiquaires de Massachusetts, p. 438)

Digitized by Google

Les cavernes ne se rencontrent pas exclusivement dans les roches calcaires. On en a observé récemment dans le schiste micacé et argileux d'une des Cyclades, l'île grecque de Thermia (la Cythnos des anciens). Là aussi, plusieurs salles spacieuses à parois irrégulières et arrondies, communiquent entre elles par d'étroits passages ou couloirs; on y remarque en outre plusieurs branches latérales sans issue. Il est évident qu'à une certaine époque, un cours d'eau a circulé dans toutes les parties de ce souterrain, et qu'il y a laissé un dépôt limoneux d'argile bleuâtre; mais on ne peut supposer que l'action érosive du courant ait donné naissance aux excavations décrites dans le premier exemple. M. Virlet pense que les fissures ont été, à l'origine, occasionnées par des tremblements de terre, et qu'ensuite elles ont servi de cheminées ou de conduits pour le dégagement des gaz engendrés par l'action intérieure des volcans. Il observe que des gaz, tels que ceux qui proviennent des acides muriatique, sulfurique, fluorique, et plusieurs autres, ont très bien pu, étant élevés à une haute température, altérer et décomposer les roches qu'ils avaient à traverser. Or, comme on retrouve des traces de l'ancienne action de ces vapeurs dans des fissures du schiste micacé de Thermia, et que des sources thermales jaillissent aujourd'hui des cavernes de

Digitized by Google

cette île, ne peut-on pas supposer que les éléments des roches décomposées ont été graduellement entraînés, à l'état de solution, par les eaux minérales? Suivant M. Virlet, cette théorie se trouve confirmée par l'action des gaz échauffés qui, dans l'isthme de Corinthe, ont considérablement altéré et corrodé les jaspes et les silex à travers lesquels ils se dégagent par plusieurs fissures (*).

Lorsqu'on réfléchit à la quantité de carbonate de chaux que déposent annuellement les sources minérales, on est disposé à admettre que de grandes cavités doivent, dans le cours des siècles, se former à des profondeurs considérables, au-dessous de la surface du sol, dans les roches calcaires (**), qui, ainsi qu'on se le rappelle, sont à la fois plus solubles, plus perméables, plus fragiles qu'aucune autre; toutes les roches calcaires compactes, du moins, sont très aisément déchirées par les secousses de tremblements de terre qui ne produiraient que des courbures dans des couches argileuses. Les fissures une fois pratiquées dans le calcaire ne sont pas sujettes, comme dans beaucoup d'autres formations, à être fermées par des matières imperméables, telles que de l'argile, de sorte qu'elles peuvent, pen-

(*) Bull. de la Soc. Géol. de France, tome II, p. 329.
(**) Voyez le chap. IV de ce volume.

Digitized by Google

dant des siècles, donner un libre passage à des courants d'eau acidule (*).

Morée. — Rien n'est plus commun dans les districts calcaires que l'engouffrement de rivières qui, après avoir suivi un cours souterrain pendant plusieurs milles, reparaissent ensuite à la surface du sol par quelque nouvelle issue. Or, comme au point où ces rivières s'engouffrent, elles sont ordinairement chargées de sédiment fin, et souvent même de sable et de cailloux, tandis qu'à celui où elles recommencent à couler à la surface, elles sont habituellement pures et limpides, on doit en conclure qu'elles déposent une grande quantité de matière dans les espaces vides qui se trouvent dans l'intérieur de la terre. Aux matériaux ainsi introduits dans ces cavités, il faut ajouter encore les stalagmites, ou carbonate de chaux qui tombe des voûtes des cavernes, et les ossements d'animaux qu'entraînent les rivières, et qui sont souvent enfouis dans ce mélange. Ainsi s'explique la présence fréquente, dans certaines cavernes, de ces brèches osseuses dont quelques unes datent d'une époque extrêmement ancienne, tandis que d'autres, au contraire, sont très récentes, et encore en voie de se former. Dans au-

(*) Voyez quelques remarques faites à ce sujet par M. Boblaye, et insérées dans les Ann. des Mines, 3e série, tom. IV.

Digitized by Google

cune région il n'existe de courants engouffrés plus remarquables qu'en Morée : les circonstances qui accompagnent ce phénomène ont été récemment étudiées et décrites avec de très grands détails par M. Boblaye et par ses collaborateurs de l'expédition française en Grèce (*). Le récit de ces observateurs offre d'autant plus d'intérêt aux géologues qu'il répand beaucoup de clarté sur les brèches osseuses rougeâtres qui renferment les ossements de quadrupèdes éteints, et qui sont si communes dans presque toutes les contrées situées sur les bords de la Méditerranée. Il paraît que les nombreuses cavernes de la Morée se rencontrent dans un calcaire compacte du même âge que la craie d'Angleterre, et au-dessous duquel se trouvent immédiatement des strates arénacées que l'on rapporte à la période du grès vert des Anglais. Les régions les plus élevées de cette presqu'île renferment plusieurs vallées profondes et fermées, ou bassins, entourés par des montagnes de calcaire fissuré et caverneux. L'année se partage d'une manière presque aussi tranchée qu'entre les tropiques, en une saison pluvieuse qui dure plus de quatre mois, et en une saison de sécheresse qui règne pendant près de huit mois. Quand les torrents sont gonflés par les pluies, ils se précipitent des hauteurs environnantes dans les bassins fermés ; mais au lieu

(*) Voy. les Ann. des Mines, 3e série, tome IV, 1833.

de donner naissance à des lacs, comme cela arriverait dans beaucoup d'autres contrées, ils tombent dans des gouffres ou abîmes, appelés par les Grecs « katavothra, » et correspondant à ce que dans le nord de l'Angleterre on désigne sous le nom de « swallow-holes, » et en France, sous celui de « bétoires. » L'eau de ces torrents est chargée de cailloux et d'une terre rouge ocreuse qui offre la plus grande analogie avec le ciment bien connu des brèches osseuses de la Méditerranée. Cette terre se dissout dans les acides avec effervescence, et laisse un résidu d'oxide de fer hydraté, de fer granulaire, de grains impalpables de silice, et de petits cristaux de quartz. Un sol semblable se rencontre très fréquemment en Grèce sur la surface du calcaire en décomposition, cette roche renfermant une grande quantité de matière siliceuse et ferrugineuse.

Plusieurs katavothra étant insuffisants pour donner passage à toute l'eau qui tombe pendant la saison des pluies, il se forme un lac temporaire autour de l'entrée du gouffre, qui, alors, s'engorge encore davantage, par suite des cailloux, du sable et du limon rouge que les eaux troubles y jettent. Le lac se trouvant ainsi élevé, ses eaux s'écoulent, en général, par d'autres ouvertures qu'elles rencontrent à des niveaux plus hauts, autour de la plaine qui forme le fond du bassin fermé.

En quelques lieux, comme à Kavaros, et à Tripolitza, où l'écoulement principal s'opère par un gouffre situé au milieu de la plaine, on ne voit, en été, c'est-à-dire au moment où le lac se dessèche, rien autre chose près de l'orifice du gouffre, qu'un dépôt de limon rouge, crevassé en tous sens. Mais c'est au pied de l'escarpement environnant de calcaire que le katavothron est placé le plus ordinairement. Dans ce cas, l'ouverture est quelquefois assez grande pour qu'à l'époque où il est sans eau, on puisse y entrer, et même pénétrer assez avant dans son intérieur, où se trouve une suite de chambres communiquant ensemble par d'étroits passages. M. Virlet rapporte que près de l'entrée d'un katavothron, il a observé des ossements humains encastrés dans un limon rouge récent, et mélangés avec des débris de plantes et d'animaux appartenant à des espèces qui habitent aujourd'hui la Morée. Il n'est pas étonnant, dit-il, que des ossements d'hommes se trouvent en de tels lieux, car les dernières guerres, en Grèce, ont été si meurtrières que souvent on rencontre des squelettes gisant à la surface du sol (*).

En été, l'ouverture du katavothron, à moitié fermée avec du limon rouge, se trouve masquée par une végétation abondante, qu'entretient l'humidité du lieu. Cette place devient alors la retraite favorite

(*) Bull. de la Soc. Géol. de France, tome III, p. 223.

des renards et des chacals; de sorte que la même cavité sert, pendant une partie de l'année, de demeure à des animaux carnassiers, et pendant l'autre, de lit à une rivière souterraine. M. Boblaye et ses compagnons virent, près de l'entrée d'un gouffre, le cadavre d'un cheval en partie dévoré; mais sa grosseur paraissait avoir empêché les chacals de l'entraîner plus avant; les marques de leurs dents étaient empreintes sur les os, et il était évident que les inondations de l'hiver suivant emporteraient tout ce qui, à cette époque, pourrait encore rester de ce squelette.

Il a été constaté que les eaux de tous ces torrents de la Morée sont troubles à l'endroit où elles s'engouffrent, mais que, lorsqu'elles reparaissent à la surface, ce qui arrive souvent à la distance de plusieurs lieues, elles sont parfaitement limpides, n'étant chargées, parfois, que d'une très faible quantité de sable calcaire. Les points de sortie se trouvent d'ordinaire près des rivages maritimes de la Morée; mais quelquefois, pourtant, ils sont sous-marins. Dans ce cas, les sables éprouvent, sur un espace considérable, un mouvement analogue à celui de l'ébullition, et la surface de la mer, même par un temps calme, se gonfle en formant de grandes vagues convexes. Il est à remarquer que lorsque cet écoulement n'a pas lieu, dans les saisons de sécheresse, la mer peut se précipiter

Digitized by Google

dans les cavernes souterraines, et y entraîner des coquilles et des sables marins qui s'y mélangent avec un limon ossifère, et avec des débris d'animaux terrestres.

Toutefois, comme l'écoulement de l'eau par ces ouvertures inférieures est, en général, d'une uniformité surprenante, les grandes cavernes doivent servir de réservoirs, d'où l'eau s'échappe peu à peu, par suite de la petitesse des crevasses et des fissures à l'aide desquelles elles communiquent avec la surface.

Les phénomènes qui viennent d'être décrits s'observent non seulement en Morée, mais aussi dans toute la Grèce, ainsi que dans les diverses parties de l'Italie, de l'Espagne, de l'Asie-Mineure, et de la Syrie, où se retrouvent des formations analogues à celles qu'on observe en Morée. Le lac Copaïs, en Béotie, n'a d'autre issue que des canaux souterrains, ce qui sert à expliquer les récits traditionnels et historiques de l'empiétement de ce lac sur les plaines environnantes, et de la submersion de plusieurs villes occasionnée par les inondations qui durent avoir lieu chaque fois que l'issue du lac se trouva partiellement obstruée, soit par du limon et du gravier, soit par un affaissement des roches, déterminé par quelque tremblement de terre. M. Boblaye, en parlant des nombreuses fissures qui existent

dans le calcaire de la Grèce, nous rappelle le fameux tremblement de terre qui eut lieu en 469 avant l'ère chrétienne, époque que Cicéron, Plutarque, Strabon et Pline ont désignée comme étant celle où Sparte et une partie du mont Taygète furent détruits, et où un grand nombre de gouffres et de crevasses se produisirent dans les roches de la Laconie.

Lors du grand tremblement de terre qui, dans l'année 1693, se fit sentir en Sicile, plusieurs milliers d'individus furent à la fois ensevelis, sous les ruines des cavernes qui se trouvaient dans le calcaire, à Sortino-Vecchio. En même temps, un courant considérable dont, pendant plusieurs siècles, les eaux s'étaient échappées par une des grottes situées sous cette ville, changea subitement son cours souterrain, et sortit par l'ouverture d'une caverne qui se trouvait plus bas dans la vallée, et où jamais auparavant il n'y avait eu d'eau. Les anciens moulins à eau furent transférés en ce nouveau point (*).

Lorsque les rivières engouffrées sont ainsi sujettes à changer de temps en temps leur cours, soit par suite d'altérations survenues dans les niveaux d'une contrée, soit par l'effet du brisement et du déchirement de masses montagneuses, on doit supposer

(*) Ces détails m'ont été donnés, en 1829, par quelques habitants de Sortino, et j'ai, moi-même, visité les lieux où le phénomène s'est passé.

Digitized by Google

que les antres où se réfugient les animaux sauvages sont quelquefois submergés par des inondations souterraines, et que leurs squelettes peuvent, en conséquence, se trouver enfouis dans des accumulations alluviales. Il se peut aussi que les ossements des individus morts dans les profondeurs de ces cavernes, ou les débris des animaux qui y furent entraînés pour servir de nourriture à ceux qui les habitaient, aient été emportés à une certaine distance, puis mêlés avec du limon, du sable et des fragments de roches, de manière à former des brèches osseuses.

En 1833, j'eus occasion d'examiner les cavernes les plus célèbres de la Franconie, celle entre autres de Rabenstein, qui avait été récemment découverte. Leur forme générale, ainsi que la nature et le mode d'arrangement des matériaux qu'elles renferment, me parurent s'accorder parfaitement avec la supposition que jadis elles avaient servi de canaux à des rivières souterraines. Cette manière de rendre compte de l'introduction de matières de transport dans les cavernes de la Franconie et dans plusieurs autres, remplies souvent, même jusqu'à leur plafond, de brèches osseuses, a, depuis longtemps, été proposée par M. C. Prevost (*), et finira, je pense, par être adoptée généralement. Toutefois je ne mets point

(*) Mém. de la Soc. d'Hist. nat. de Paris, tom. IV.

en doute que des ours n'aient habité quelques unes des cavernes de l'Allemagne, ou que celle de Kirkdale, dans le Yorkshire, n'ait jadis servi de retraite à des hyènes. L'abondance des excréments osseux qu'on y trouve, associés avec des ossements d'hyènes, a été indiquée, avec raison, par le Dr Buckland, comme un fait de nature à confirmer cette opinion.

Le même auteur a observé, dans chacune des cavernes qu'il visita en Allemagne, que des dépôts de limon et de sable, avec ou sans cailloux roulés et fragments angulaires de roche, étaient recouverts d'une simple croûte de stalagmite (*). Il remarqua aussi que dans les cavernes d'Angleterre, les *alternances* d'alluvium et de stalagmite manquaient également. Mais le Dr Schmerling a découvert dans une caverne, à Chockier, village situé à deux lieues environ de Liége, trois lits distincts de stalagmite, séparés les uns des autres par une masse de brèche, et par du limon mêlé de cailloux quartzeux. Les trois dépôts renfermaient des ossements de quadrupèdes éteints.

Cette exception n'infirme pas la généralité du phénomène signalé par le Dr Buckland, — phénomène dont l'une des causes s'expliquerait peut-être de la manière suivante : si, à diverses époques, les eaux provenant de plusieurs inondations se fraient

(*) Reliquiæ Diluvianæ, p. 108.

Digitized by Google

une route à travers un passage souterrain, il pourra arriver que la dernière de ces inondations, si elle est douée d'une force capable d'entraîner des fragments de roche, déchire aussi toutes les couches alternantes de stalagmite et d'alluvion qui auront été formées précédemment. Une autre cause possible du phénomène tient à ce qu'une ligne de cavernes se trouve rarement située, relativement aux niveaux les plus bas d'une contrée, de manière à pouvoir devenir, à deux époques différentes, le réceptacle de rivières engouffrées. Dans le cas, cependant, où cela aurait lieu, quelques unes des cavernes, ou du moins les tunnels de communication, pourraient, dès la première époque, se trouver entièrement obstrués par des matières de transport, si bien que les eaux seraient forcées de suivre une autre direction.

Comme les mêmes cavernes peuvent rester ouvertes pendant des laps de temps indéfinis, il est possible que les espèces qui habitent une région donnée subissent pendant ces intervalles de très grandes modifications; et c'est ainsi que les débris d'animaux appartenant à des époques très différentes peuvent se trouver mélangés dans une tombe commune. Dans ce cas, il est souvent fort difficile de séparer les monuments de l'époque humaine de ceux qui se rapportent à des périodes bien antérieures, et le Dr Buckland a dû déployer beaucoup d'habileté

Digitized by Google

pour éviter de semblables anachronismes dans les recherches qu'il a faites au sujet de plusieurs cavernes d'Angleterre. Il fait mention de squelettes humains que l'on a trouvés dispersés dans une argile et un limon rougeâtres de la caverne de Wokey Hole, près de Wells, dans les Mendips, et dont plusieurs, réunis par des stalagmites, forment une brèche osseuse très dure. « Le point où se rencontrent ces squelettes est à portée de l'atteinte des plus grands débordements de la rivière adjacente, et le limon qui les renferme est évidemment fluviatile (*). »

En parlant de la caverne de Paviland, sur la côte du Glamorganshire, le même auteur rapporte que l'ensemble de la masse où se trouvaient des ossements dispersés, semblait avoir été dérangé par d'anciens creusements, d'où était résulté le mélange des débris d'animaux éteints avec les coquilles et les ossements récents qu'on y observait. Dans la même caverne, on découvrit un squelette humain, et des débris de testacés d'espèces récentes et comestibles, qui, probablement, y avaient été introduites par l'homme.

Dans plusieurs cavernes situées sur les bords de la Meuse, aux environs de Liége, le docteur Schmer-

(*) Reliquiæ Diluvianæ, p. 165.

Digitized by Google

ling a trouvé dans le même limon et dans les mêmes brèches des ossements humains, associés à des débris d'éléphant, de rhinocéros, d'ours, et de plusieurs autres quadrupèdes se rapportant à des espèces éteintes. N'ayant point observé d'excréments de ces animaux, il en a conclu, ainsi que de la présence du limon et des cailloux, que ces cavernes n'avaient jamais été habitées par des animaux sauvages, mais que ceux dont on retrouvait les débris y avaient été entraînés par un cours d'eau. D'un autre côté, comme les ossements et les crânes humains étaient en fragments, et que l'on n'a rencontré aucun squelette entier, il ne croit pas que ces cavernes aient servi de lieux de sépulture; il pense que les débris humains y furent entraînés en même temps que les ossements de quadrupèdes éteints.

Cavernes observées dans le midi de la France. — Des mélanges semblables d'ossements humains, d'ouvrages d'art et de débris de quadrupèdes éteints, découverts dans le midi de la France, ont porté quelques géologues à soutenir que l'homme habitait cette partie de l'Europe avant que le rhinocéros, l'hyène, le tigre, et plusieurs autres espèces fossiles fussent perdues. Je citerai d'abord la caverne de Bize, dans le département de l'Aude, où

M Marcel de Serres a rencontré un grand nombre d'ossements humains mêlés avec des ossements d'animaux éteints et des coquilles terrestres. Ils se trouvent dans une masse calcaire dure, et sont liés ensemble par un ciment de stalagmite. En visitant la même caverne, M. Tournal trouva, non seulement dans ces lits calcaires, mais aussi dans un limon noir qui recouvre un limon rouge ossifère, plusieurs dents humaines, avec des morceaux brisés d'une espèce grossière de poterie, et des coquilles récentes, marines et terrestres. Les dents conservent leur émail, mais les canines sont tellement altérées qu'elles happent fortement à la langue. Parmi les coquilles terrestres ainsi associées aux ossements et aux débris de poterie, les plus nombreuses sont les suivantes : *Cyclostoma elegans*, *Bulimus decollatus*, *Helix nemoralis*, et *H. nitida*. Parmi les coquilles marines nous citerons plusieurs espèces comestibles, telles que des *Pecten jacobæus*, des *Mytilus edulis*, et des *Natica mille-punctata*, qui, suivant toute apparence, ont été apportées aux lieux où on les trouve comme substances alimentaires. La même masse a fourni des ossements appartenant à trois espèces nouvelles de daims, à un ours éteint (*Ursus arctoïdeus*), et au taureau sauvage (*Bos urus*), originaire de la Germanie (*).

(*) M. Marcel de Serres, Géognosie des terrains tertiaires, p. 64, Introduction.

Digitized by Google

M. de Christol a trouvé dans les cavernes que présente un calcaire tertiaire à Pondres et à Souvignargues, à deux lieues au nord de Lunel-Viel, département de l'Hérault, des ossements et des poteries mêlés à des débris de rhinocéros, d'ours, d'hyènes, et de divers autres mammifères terrestres. Tous ces débris étaient empâtés dans un limon alluvien qui contenait aussi quelques cailloux siliceux avec des fragments du calcaire environnant. La dureté de ce limon pouvait se comparer à celle du tuf calcaire. Au-dessous de cette accumulation, qui, parfois, atteignait jusqu'à treize pieds (près de 4^{m}) de puissance, on rencontre le sol primitif de la caverne, dont l'épaisseur est d'un pied (30^{c}) environ, et qui est recouvert d'ossements et d'excréments d'animaux (*album græcum*), contenus dans une couche sableuse et tufacée.

On a reconnu, à l'aide d'analyses faites avec le plus grand soin, que les ossements humains des cavernes de Pondres et de Souvignargues ont abandonné une aussi grande proportion de leur matière animale que les ossements d'hyènes qui les accompagnent; qu'ils sont aussi cassants que ces derniers, et qu'ils happent également à la langue.

Afin de pouvoir comparer le degré d'altération de ces ossements avec celui d'autres ossements que l'on sait être extrêmement anciens, M. Marcel de

Serres et M. Ballard, chimistes de Montpellier, s'en sont procuré quelques uns provenant d'un sarcophage gaulois découvert dans la plaine de Lunel, et que l'on suppose être resté enfoui pendant quatorze ou quinze siècles au moins. Dans ces derniers, le tissu cellulaire était vide, mais ils avaient plus de dureté que les os frais. Ils ne s'attachaient pas à la langue de la même manière que ceux des cavernes de Bize et de Pondres, quoique pourtant ils eussent perdu les trois quarts au moins de la matière animale qu'ils possédaient originairement.

L'excès de dureté des ossements provenant du sarcophage gaulois, par rapport à ceux d'un squelette récent, est un fait qui s'accorde parfaitement avec les observations auxquelles s'est livré M. Mantell sur des ossements extraits d'un tumulus saxon, près de Lewes.

M. Teissier a aussi décrit une caverne située près de Mialet, dans le département du Gard, où l'on a trouvé des débris d'ours et de divers autres animaux, mêlés confusément avec des ossements humains, des poteries grossières, des dents percées destinées à servir d'amulettes, des fragments d'os de forme aiguë, des bracelets de bronze, et une urne romaine. Une partie de ce dépôt atteignait la voûte de la caverne, et y adhérait fortement. M. Teissier suppose qu'à une certaine époque, la portion exté-

Digitized by Google

rieure de cette caverne servit de tanière à des ours ; puis, que les naturels du pays en prirent possession pour en faire, soit un lieu de demeure, soit un lieu de sépulture, et qu'ils y laissèrent les poteries grossières, les amulettes et les os taillés en pointe que l'on y retrouve aujourd'hui. Il n'est pas impossible non plus qu'à une troisième époque, les Romains en aient fait à leur tour un lieu de sépulture ou de refuge, et que ce soit à eux qu'aient appartenu l'urne et les bracelets de métal. Enfin, si l'on suppose que, par suite de quelque cause temporaire, le cours de la rivière voisine se soit trouvé obstrué, il faudra admettre aussi qu'une inondation a dû avoir lieu, et qu'en se précipitant dans la cavité, elle aura pu entraîner dans les cavernes et dans les tunnels intérieurs tous les débris qu'on y observe, et les entasser pêle-mêle (*).

Dans la controverse qui s'est élevée à ce sujet, MM. Marcel de Serres, de Christol, Tournal et quelques autres, ont soutenu que les phénomènes observés dans cette caverne, et dans plusieurs autres du midi de la France, prouvent que les ours, les hyènes, les rhinocéros fossiles et diverses autres espèces perdues, habitèrent jadis le pays à l'époque où l'homme lui-même y vivait. M. Desnoyers a sou-

(*) Bull. de la Soc. Géol. de France, tome II, p. 55-63.

tenu l'opinion contraire. Les pointes de flèches et les haches de silex, dit-il, que l'on a trouvées dans plusieurs cavernes de France et d'Angleterre, avec des os taillés en pointe et des poteries grossières, offrent précisément le même caractère que ceux qui ont été découverts dans les tumulus et sous les dolmens (autels grossiers en pierre brute) des premiers habitants de la Gaule, de la Grande-Bretagne et de la Germanie. Il faut donc en conclure que les ossements humains qui, dans les cavernes, se trouvent associés à ces objets fabriqués, ont appartenu, non aux périodes antédiluviennes, mais à un peuple aussi avancé, sous le rapport de la civilisation, que ceux qui construisirent les tumulus et les dolmens.

Dans les monuments gaulois on trouve réunis aux objets d'industrie ci-dessus mentionnés, des ossements d'animaux sauvages et domestiques, tels que des daims, des moutons, des sangliers, des chiens, des chevaux et des bœufs appartenant à des espèces qui, aujourd'hui, habitent l'Europe. Ce fait a été constaté dans le Quercy, ainsi que dans plusieurs autres provinces; et les antiquaires pensent que ces animaux ont été placés sous les autels celtiques en mémoire des sacrifices offerts à la divinité gauloise Hésus, et dans les tombeaux, non seulement pour consacrer le souvenir des repas funèbres,

aient pu être entraînés ensemble par des inondations, puis enfouis pêle-mêle.

Ce n'est donc point d'après le témoignage offert par de tels mélanges que l'on doit se hâter d'admettre, soit la très grande ancienneté de la race humaine, soit la date récente de l'époque à laquelle disparurent certaines espèces de quadrupèdes.

Parmi les divers modes de conservation des ossements d'animaux, nous citerons, indépendamment de l'action des inondations continentales et des rivières engouffrées, les fissures ouvertes qui, souvent, servent de piéges naturels aux animaux herbivores qui y trouvent la mort. C'est ce qui arrive surtout lorsqu'ils sont poursuivis par des animaux carnassiers, ou lorsqu'ils broutent tranquillement les arbustes touffus dont l'épaisseur leur cache les bords de ces fissures (*).

Lors des fouilles que l'on a récemment exécutées près de Behat, dans l'Inde, on trouva au fond d'un ancien puits qui avait été rempli de marne alluviale, les ossements de deux daims. Leurs bois étaient brisés en plusieurs morceaux, mais les os de la mâchoire et diverses autres parties du squelette restaient presque entiers. « Leur présence en cet endroit s'explique aisément, » dit le capitaine Cautley, « en

(*) Buckland, Reliquiæ Diluvianæ, p. 25.

Digitized by Google

ce qu'un grand nombre de ces animaux et divers autres se perdent sans cesse en gambadant dans les *jungles* et les hautes herbes, au milieu desquelles se trouvent souvent des puits abandonnés où ils tombent (*). »

Au-dessus du village de Selside, près d'Ingleborough, dans le Yorkshire, on rencontre dans le calcaire appelé *scar-limestone*, qui forme un des membres de la série carbonifère, un abîme d'une profondeur inconnue, mais très considérable. « Cet abîme, » dit le professeur Sedgwick, « est entouré de bords inclinés, couverts d'herbes, vers lesquels un grand nombre d'animaux se trouvant attirés, tombaient dans le précipice et y périssaient. L'approche de cet endroit est actuellement interdite au bétail par une haute et forte muraille; mais il n'y a nul doute que, pendant les deux ou trois derniers mille ans qui se sont écoulés, de grandes masses de brèches osseuses n'aient dû s'accumuler dans les parties basses de la grande fissure qui, probablement, traverse toute l'épaisseur du *scar-limestone*, jusqu'à la profondeur de cinq ou six cents pieds (150 ou 180^{m} environ) peut-être » (**).

(*) Voir p. 395 du présent volume.

(**) Memoir on the structure of the Lake Mountains of the North of England, etc., read before the Geological Society,

Lorsque quelqu'une de ces ouvertures naturelles vient à communiquer avec des lignes de cavernes souterraines, les ossements, la terre et la brèche peuvent, ou s'abaisser par leur propre poids, ou être entraînés dans les cavités qui se trouvent au-dessous.

A l'extrémité septentrionale du rocher de Gibraltar on observe des fissures perpendiculaires, sur les bords desquelles un grand nombre de faucons établissent leurs nids et élèvent leurs petits. Les ossements d'oiseaux, de souris et des divers autres animaux qui servent de nourriture aux faucons, finissent peu à peu, en tombant de leurs nids, par former une brèche avec des fragments angulaires du calcaire en décomposition et un ciment de terre rougeâtre.

Au passage de Lescrinet, en France, sur l'escarpement septentrional des collines du Coiron, près d'Aubenas, j'ai vu une brèche en voie de se former. De petits fragments de calcaire en décomposition sont entraînés, dans des moments de fortes pluies, par un petit courant, jusqu'au pied de la déclivité, où des coquilles terrestres se trouvent en très grande abondance. Les fragments de pierre et

janv. 5 1831. (Mémoire sur la structure des Lake Mountains du Nord de l'Angleterre, etc., lu à la Société Géologique, le 5 janvier 1831).

Digitized by Google

les coquilles sont ensuite cimentés ensemble par une matière stalagmitique à l'aide de laquelle ils forment une masse compacte, et le talus qui résulte de cet arrangement a, en un certain point, cinquante pieds (15^{m}) d'épaisseur, et cinq cents mètres de large. La partie inférieure de la masse est si dure qu'on l'exploite comme pierre à meules.

Calcaire stalagmitique récent de Cuba. — Un des exemples les plus singuliers de la production récente du calcaire stalagmitique dans les cavernes et dans les fissures, est celui qu'a décrit M. R. C. Taylor, et qu'il a indiqué comme pouvant être observé dans la partie nord-est de l'île de Cuba (*). Le sol, en cet endroit, se compose d'un marbre blanc dans lequel se trouvent de nombreuses cavités, partiellement remplies d'un dépôt calcaire, dont la couleur approche du rouge de brique. Ce dépôt renferme des coquilles, ou souvent seulement des empreintes en creux de coquilles qui semblent devoir être rapportées principalement à huit ou neuf espèces de limaçons terrestres; on y rencontre aussi quelques ossements disséminés de quadrupèdes, et, ce qui est encore plus extraordinaire, des coquilles

(*) Notes sur la Géol. de Cuba, d'après des observations aites en 1836. Phil. Mag. Juillet, 1837.

Digitized by Google

univalves marines, souvent à la hauteur de plusieurs centaines de pieds, et même quelquefois de mille pieds (300^{m}), au-dessus du niveau de la mer. L'accroissement graduel de ce dépôt a été expliqué de la manière suivante. Les coquilles terrestres des genres Helix, Cyclostoma, Pupa et Clausilia, se retirent dans les cavernes, dont le sol est jonché de myriades de ces mêmes coquilles vides ; en même temps, l'eau qui s'est infiltrée à travers la montagne dépose du carbonate de chaux sur ces coquilles et sur les fragments de calcaire blanc qui, de temps à autre, se détachent de la voûte. Des multitudes de chauves-souris se réfugient également dans les cavernes ; et leurs excréments, qui sont d'un rouge très vif, en raison probablement des baies dont elles se nourrissent, communiquent cette couleur à la masse. Quelquefois aussi le Hutia, ou grand rat d'Inde, meurt dans les cavernes, où restent alors ses ossements. « A de certaines époques de l'année, les crabes-soldats se rendent au rivage de la mer ; puis ils reviennent de leur pèlerinage, emportant chacun, ou plutôt traînant avec peine, jusqu'à plusieurs milles de distance, la coquille de quelque univalve marine. A l'aide de ce signe, on peut suivre leurs traces jusqu'à huit ou dix milles (3 l. ou 3 $\frac{1}{2}$ l.) du rivage, sur le sommet de montagnes de douze cents pieds (366^{m}) de hauteur,

Digitized by Google

comme jadis on suivait celles des pèlerins qui portaient aussi chacun leur coquille, pour indiquer le but et la longueur de leur voyage. » C'est ainsi que plusieurs espèces de testacés marins des genres Trochus, Turbo, Littorina et Monodonta, se trouvent transportées dans des cavernes situées à l'intérieur des terres, et entrent dans la composition de la roche qui est en voie de s'y former.

Digitized by

CHAPITRE XII.

ENSEVELISSEMENT DE DÉBRIS ORGANIQUES DANS DES DÉPÔTS SOUS-AQUEUX.

Division du sujet. — Enfouissement d'animaux et de plantes terrestres. — Augmentation de la pesanteur spécifique du bois enfoncé à de grandes profondeurs dans la mer. — Bois flottant observé dans le Mackensie, dans le Lac de l'Esclave, et dans la Mer Polaire. — Arbres flottants dans le Mississipi, dans le Gulf Stream, sur la côte de l'Islande, du Spitzberg et du Labrador. — Description d'une forêt sous-marine découverte sur la côte du Hampshire. — Minéralisation de plantes. — Enfouissement de débris d'insectes et de reptiles. — Causes de la rareté des ossements d'oiseaux dans les formations sous-aqueuses. — Ensevelissement de quadrupèdes terrestres occasionné par des inondations fluviatiles. — Squelettes trouvés dans des marnes coquillières récentes. — Enfouissement de débris de mammifères dans des couches marines.

Division du sujet. — Après avoir traité de l'ensevelissement des débris organiques dans les dépôts formés sur la terre ferme, nous allons nous occuper de leur enfouissement dans les couches accumulées sous les eaux.

Digitized by Google

Nous diviserons cette branche de notre sujet en trois parties, considérant d'abord les divers modes suivant lesquels les débris provenant d'espèces *terrestres* peuvent être ensevelis dans les formations sous-aqueuses; puis les différentes manières dont les animaux et les plantes qui habitent l'*eau douce* sont enfouis dans ces mêmes formations; et enfin comment les espèces *marines* peuvent se conserver dans les couches récentes.

Ces phénomènes exigent plus d'attention que ceux que nous avons examinés en premier lieu, par la raison que les dépôts formés sur la partie sèche des continents sont, sous le rapport de l'épaisseur, de l'étendue et de la durée, tout-à-fait insignifiants, comparativement aux dépôts d'origine sous-aqueuse. L'étude de ceux-ci est entourée de difficultés d'autant plus grandes que les phénomènes qui s'y rattachent sont beaucoup moins accessibles à nos moyens ordinaires d'observation. Or, rien ne nuit tant en géologie au progrès des saines idées que le peu d'attention qu'on apporte généralement à ce fait important, que les effets reproducteurs des principaux agents de changement sont limités à un autre élément que celui dans lequel nous vivons, c'est-à-dire à la plus grande portion du globe, à celle dont notre organisation nous exclut presque entièrement (*).

(*) Voir vol. I du présent ouvrage, ch. V.

Enfouissement de plantes terrestres.

Lorsqu'un arbre vient à tomber dans une rivière par suite de l'érosion des bords de cette rivière, ou lorsqu'il y est entraîné par un torrent ou par une inondation, il flotte à la surface,— non parce que la pesanteur spécifique de sa partie ligneuse est moindre que celle de l'eau, mais parce qu'il est rempli de pores qui renferment de l'air. Lorsqu'il a été mouillé pendant un temps considérable, l'eau pénètre dans ces pores; puis, enfin, quand il en est complétement imbibé, il s'enfonce. Le temps nécessaire à l'accomplissement de cette opération varie suivant les différentes espèces de bois : plusieurs peuvent être entraînées à de grandes distances, et même quelquefois traverser l'Océan avant de perdre la propriété de flotter.

Bois enfoncé à une grande profondeur dans la mer. — Lorsque le bois pénètre à de grandes profondeurs dans la mer, il peut immédiatement s'imprégner d'eau. Dans sa Relation des Régions arctiques, le capitaine Scoresby rapporte qu'une baleine, au moment où elle venait d'être harponnée, entraîna toutes les lignes qui étaient dans le bateau, puis le bateau lui-même, qui se trouva ainsi à plusieurs milliers de pieds sous l'eau; les hommes qui le montaient eurent à peine le temps d'atteindre une

Digitized by Google

masse de glace pour s'y réfugier. Quand la baleine revint à la surface « pour souffler » elle fut frappée une seconde fois, et bientôt après on put la tuer. Au moment où elle expira, elle commença à s'enfoncer, — circonstance extraordinaire, dont la cause fut attribuée au poids du bateau coulé auquel elle se trouvait attachée. Néanmoins, à l'aide de harpons et de cordages, on parvint à l'empêcher de s'enfoncer tout-à-fait, et à la décharger du poids qui tendait à l'entraîner, ce à quoi l'on réussit en ajoutant une corde aux lignes du bateau. Cela ne fut pas plus tôt fait, que la baleine remonta à la surface. Le bateau coulé fut ensuite halé à grand'peine ; car il était si pesant que, bien qu'avant l'accident il eût pu flotter, même étant rempli d'eau, on fut obligé de placer une barque à chacune de ses extrémités pour l'empêcher de sombrer. Lorsqu'il fut hissé dans le vaisseau, la peinture se détacha du bois par grandes plaques, et les bordages qui étaient en lambris très épais se trouvèrent aussi fortement imbibés d'eau que s'ils fussent restés au fond de la mer depuis le déluge! Un appareil en bois qui accompagnait le bateau dans sa marche, et qui consistait principalement en une pièce de sapin de quinze pouces ($0^m,38$) en carré, tomba à la mer. Quoique le bois dont cet appareil était formé fût originairement très léger, il s'enfonça dans l'eau comme une

Digitized by

pierre. Quant au bateau, il était tellement hors de toute espèce d'usage, que le bois qu'on en retira ne put même pas servir comme combustible (*).

Le capitaine Scoresby a trouvé qu'en enfonçant des morceaux de sapin, d'orme, de frêne, etc., à la profondeur de quatre mille, et même quelquefois de six mille pieds (1200 et 1800^{m}) dans la mer, ils s'imprégnaient d'eau, au point que lorsqu'après une heure d'immersion on les retirait, ils ne pouvaient plus flotter. L'effet de cette imprégnation était d'augmenter non seulement la pesanteur spécifique du bois, mais aussi ses dimensions, chaque pouce cube ayant augmenté de $\frac{1}{20}$ en grandeur et de $\frac{84}{100}$ en poids (**).

Bois flottant du Mackensie. — Quand des bois sont entraînés par une rivière, ils se trouvent souvent arrêtés par des lacs; alors, s'imprégnant d'eau, ils peuvent s'enfoncer et être enfouis dans des couches lacustres, s'il se forme quelque dépôt à l'endroit où ils tombent. Quelquefois il arrive qu'une partie de ces bois flotte jusqu'à ce qu'elle atteigne la mer. Le Mackensie offre un exemple de vastes accumulations de matière végétale actuellement en voie de se former sous l'influence de ces deux circonstances.

(*) Account of the Arctic Regions. (Relation des Régions Arctiques), vol. II, p. 193.

(**) Account of the Arctic Regions, vol. II, p 202.

Digitized by Google

La quantité de bois flottant annuellement amenée dans le Lac de l'Esclave, qui, sous le rapport de l'étendue, rivalise avec quelques unes des grandes mers d'eau douce du Canada, est énorme. « Comme les arbres, » dit le Dr Richardson, « conservent leurs racines, qui sont souvent chargées de terre et de pierres, ils s'enfoncent promptement, surtout lorsqu'ils sont imbibés d'eau; puis, leur accumulation, là où il existe des remous, donne naissance à des hauts-fonds qui finissent par devenir des îles. Dès que ces îles dépassent le niveau de l'eau, elles sont couvertes de touffes de saules dont les racines fibreuses servent à lier la masse et à lui donner de la solidité. Quoi qu'il en soit, l'action de la rivière et celle de la gelée concourent chaque année à diviser ces îles en plusieurs sections, et il est intéressant alors d'étudier la diversité d'apparences qu'elles offrent suivant les différentes époques de leur formation. Les troncs des arbres se décomposent peu à peu jusqu'à ce qu'ils soient convertis en une substance d'un brun noirâtre, ressemblant à de la tourbe, mais conservant encore quelque chose de la structure fibreuse du bois. Des couches de cette substance alternent souvent avec des lits d'argile et de sable à travers lesquels pénètrent, jusqu'à la profondeur de quatre ou cinq mètres, et même plus quelquefois, les longues racines fibreuses des saules. Une légère

Digitized by Google

infiltration de matière bitumineuse, dans un dépôt de cette nature, produirait une excellente imitation de charbon, avec des empreintes de racines de saules. Ce qu'il y avait de plus remarquable était la structure schisteuse horizontale que présentaient les anciens bords alluviens, ou la *courbe régulière* que formaient les couches par suite de l'inégalité de leur affaissement.

« Bien que ce soit dans les rivières seulement que nous ayons pu observer des coupes de ces dépôts, la même action se produit dans les lacs sur une échelle bien plus grande encore. Le bois flottant et les débris de végétaux que l'Elk amène dans le lac Athabasca, ont donné lieu à la formation d'un haut-fond de plusieurs milles d'étendue, dans la partie méridionale de ce lac; et tout porte à croire que le lac de l'Esclave lui-même finira par être comblé par les matériaux que la rivière de même nom y entraîne chaque jour. D'immenses quantités de bois flottant sont ensevelies sous le sable qui se trouve à l'embouchure de la rivière, et l'on en voit des piles énormes, amoncelées sur toutes les rives du lac (*). »

Les bords du Mackensie offrent presque partout des lits horizontaux de lignite, alternant avec

(*) Dr Richardson's Geognost. Obs. on Capt. Franklin's Polar Expedition. (Géognost. du Dr Richardson, Obs. sur l'Expédition au Pôle du Capit. Franklin.)

Digitized by Google

de l'argile bitumineuse, du gravier, du sable et du grès friable : on y observe, en un mot, des sections de tous les dépôts actuellement en voie de se former dans les différents lacs que traverse ce fleuve.

Malgré les vastes forêts interceptées par les lacs, on observe une accumulation de bois plus considérable encore que celles dont nous venons de parler, au point où le Mackensie atteint la mer, c'est-à-dire sous une latitude où aucune espèce de bois ne croît aujourd'hui, si ce n'est quelques saules chétifs. La matière alluviale a formé aux embouchures de la rivière une barrière d'îles et de hauts-fonds, où l'on peut prévoir qu'à quelque époque future il existera un dépôt considérable de houille.

La grande quantité de bois flottant que l'on observe sur le Mackensie est due, à ce que m'apprend le Dr Richardson, à la longueur et à la direction de cette rivière, qui coule du sud au nord, de sorte que ses différentes sources se trouvent sous des latitudes beaucoup plus chaudes que ses embouchures. D'après cela, on conçoit que dans la région où sont situées les sources, la glace doive fondre longtemps avant que les eaux de la partie inférieure de la rivière cessent d'être gelées; il en résulte que le courant, en se précipitant vers le nord, rencontre un point où le dégel n'a pas encore commencé ; les eaux

Digitized by

alors, arrêtées par les glaces, sortent de leur lit, et se répandent sur les forêts de pins qui l'avoisinent, entraînant avec elles des milliers d'arbres déracinés.

Bois flottant du Mississipi.— J'ai déjà eu occasion d'observer que la navigation du Mississipi est considérablement retardée par les troncs d'arbres qui se trouvent à moitié enfoncés dans les eaux de ce fleuve (*). En atteignant le golfe du Mexique, un grand nombre de ces arbres s'enfoncent tout-à-fait, et sont enfouis dans les dépôts récents qui forment le delta; mais plusieurs d'entre eux flottent encore à la surface et se rendent ainsi dans le Gulf Stream. « Tous les navigateurs savent que les plantes intertropicales (dit M. Constant Prevost) prises par le grand courant que la forme des côtes de l'Amérique force de se diriger vers le nord-est, arrivent souvent intactes jusque sur les côtes d'Islande et du Spitzberg, après qu'une grande partie s'est arrêtée sans doute dans ce trajet, probablement toujours dans les mêmes anses, sur les mêmes fonds, et dans les lieux enfin où un remou, un calme vient déterminer cette distribution, qui, comme l'on voit par ce seul exemple, se fait sur un espace compris entre l'équateur et le 80e degré de latitude; espace immense, six fois plus considérable

(*) Voyez le chap. II de ce volume.

Digitized by Google

que celui qui est occupé par toute l'Europe, et trente fois plus grand que la France. Ces transports, quoique réguliers, ne sont cependant pas continuels ; ils se font par intermittence à la suite des grandes inondations ; et dans l'intervalle, les mêmes eaux ne portent dans les mêmes lieux que du sable, que de la vase, et peut-être alternativement l'un et l'autre, selon la hauteur et la rapidité des fleuves affluents (*). »

Bois flottant sur les côtes de l'Islande, du Spitzberg, etc.— « Il y eut autrefois en Islande, » dit Malte-Brun, « de grandes forêts qui abritaient les vallées méridionales. Une mauvaise économie les a dévastées. On ne trouve à présent que quelques bois de bouleaux et beaucoup de broussailles. Mais le bois que la terre refuse aux Islandais leur est amené par la mer. C'est un des phénomènes les plus étonnants dans la nature, que cette immense quantité de gros troncs de pins, sapins et autres arbres qui viennent se jeter sur les côtes septentrionales de l'Islande, surtout sur le cap du Nord et sur celui nommé Langaness. Ce bois arrive sur ces deux points dans une telle abondance que les habitants en négligent la plus grande partie. Les morceaux qui sont poussés le long de ces deux promontoires

(*) Mém. de la Soc. d'Hist. Nat. de Paris, vol. IV, p. 84.

Digitized by Google

vers les autres côtes fournissent à la construction des bateaux (*). » Il se dépose aussi du bois flottant sur les rivages du Labrador et du Groenland, et Crantz nous assure que les masses de bois qui sont poussées par les vagues sur l'île de Jean-Mayen, égalent souvent en volume l'étendue entière de cette île (**).

La même cause qui produit ces diverses accumulations de bois donne lieu à celles qu'on observe dans les baies du Spitzberg, ainsi que sur les côtes orientales de la Sibérie, où elles sont formées de mélèzes, de pins, de cèdres de Sibérie, de sapins, de bois de Fernambouc et de Campêche. Les troncs d'arbres paraissent avoir été entraînés par les grands fleuves de l'Asie et de l'Amérique. Quelques uns viennent du golfe du Mexique, d'où ils sont transportés par le courant de Bahama; d'autres sont amenés par le courant qui, au nord de la Sibérie, coule constamment de l'est à l'ouest. Bien que quelques uns de ces arbres aient été privés de leur écorce par l'effet du frottement, ils sont dans un assez bon état de conservation pour fournir d'ex-

(*) Malte-Brun, Précis de la Géographie Universelle, vol. VI, p. 56. Paris, 1841.

(**) Crantz, Hist. of Greenland. (Histoire du Groenland, par Crantz.) Vol. I, p. 50-54.

Digitized by Google

cellent bois de construction (*). Une partie des branches et presque toutes les racines restent fixées à la tige des pins qui ont été entraînés dans la Mer du Nord, sous des latitudes trop froides pour que de tels arbres aient pu y croître; mais les troncs, en général, sont dépouillés de leur écorce.

Les feuilles, ainsi que les autres parties les plus légères des plantes, sont, en quelque point du globe que ce soit, très rarement entraînées jusqu'à la mer, si ce n'est pendant les ouragans qui, entre les tropiques, éclatent souvent sur les îles de ces régions, et pendant les violentes agitations de l'atmosphère qui accompagnent quelquefois les tremblements de terre et les éruptions volcaniques (**).

Nombre comparatif des espèces de plantes vivantes et fossiles. — On voit d'après ce qui précède que bien que les débris de végétation terrestre, amenés des continents par des causes aqueuses, soient déposés principalement au fond des lacs ou aux embouchures des rivières, une grande quantité se trouvent entraînés presque dans toutes les directions par les courants, et peuvent ainsi être encastrés dans des formations *marines*, ou tomber, lors-

(*) Olafsen, Voyage to Iceland (Voyage en Islande), t. I.
(**) De la Bèche, Geol. Manual, p. 477.

qu'ils sont imprégnés d'eau, au fond d'immenses abîmes, et s'y accumuler sans mélange d'autres matières.

Peut-être demandera-t-on si la science possède quelque donnée qui permette d'espérer que les restes d'un très grand nombre des espèces de plantes aujourd'hui existantes pourront se conserver au point d'être reconnaissables, en supposant qu'à quelque époque future, les couches actuellement en voie de se former se trouveront exhaussées. A cela on peut répondre qu'il n'y a aucune raison de croire qu'une grande partie des plantes qui prospèrent aujourd'hui sur le globe seront jamais fossilisées, puisque leurs habitations sont, pour la plupart, éloignées des lacs et des mers, et que même dans les lieux où elles croissent près de masses d'eau considérable, les circonstances qui favorisent l'enfouissement et la conservation des débris de végétaux, sont tout-à-fait accidentelles, et ne se manifestent que sur des étendues souvent très limitées. Supposons, par exemple, qu'abstraction faite des cryptogames, on puisse évaluer à 2,500 le nombre des espèces de plantes qui habitent le bassin hydrographique du Rhin, c'est-à-dire cette région qui s'étend depuis les Alpes jusqu'à la mer, et est arrosée par le Rhin et par ses nombreux tributaires. Bien que cette évaluation n'ait rien d'exagéré, il y a tout lieu de

Digitized by Google

croire que si un géologue était à portée d'explorer les dépôts formés par le sédiment du Rhin, dans le lac de Constance, et à la hauteur de la côte de Hollande, il pourrait à peine recueillir, dans ces strates récentes, les feuilles, le bois et les graines de *cinquante* espèces assez bien conservés pour qu'un botaniste pût déterminer leurs caractères spécifiques avec certitude.

Les naturalistes qui supposent qu'à de certaines époques l'ancienne flore était moins variée qu'elle ne l'est aujourd'hui, uniquement parce qu'ils n'ont encore découvert que quelques centaines d'espèces fossiles d'une époque particulière, tandis qu'ils peuvent en compter plus de 50,000 vivantes, raisonnent donc sur une donnée fausse, et leur point de comparaison n'est évidemment pas le même dans les deux cas.

Forêt sous-marine observée sur la côte du Hampshire. — Nous avons déjà vu que la position de plusieurs forêts sous-marines, que l'on observe sur les rivages britanniques où des tiges d'arbres sont encore placées verticalement, est due, dans quelques circonstances, à l'abaissement de la terre ferme (*); mais il est certains cas où ce phénomène exige une autre explication. L'honorable Ch.

(*) Voir p. 248 et 301 de ce volume.

Digitized by Google

Harris découvrit, en 1831, au-dessous du niveau moyen de la mer, à Bournmouth, dans le Hampshire, des traces évidentes d'une forêt de sapins qui, au moment de la basse mer d'une très grande marée, avait été mise à découvert. La formation dans laquelle on a reconnu ces traces consiste en tourbe et en bois; elle est située entre le rivage et une barre de sable dont elle est éloignée de 200 mètres environ, et longe la côte sur une étendue de cinquante mètres. On la retrouve aussi sur le prolongement de la vallée de Bournmouth, dont elle est séparée par un espace de 200 mètres, couvert de galets et de sable transporté. Dans la vallée coule un grand ruisseau qui, près de son embouchure, traverse une étendue considérable d'un terrain inégal, marécageux et rempli de bruyères, où croissent quelques bouleaux et un très grand nombre de *Myrica-Gale*. On a compté dans une coupe transversale d'un des sapins enfouis, qui avait quatorze pouces (36c) de diamètre, soixante-seize anneaux indiquant la croissance annuelle de ces arbres. Outre les troncs et les racines de sapin, on trouve dans la tourbe des fragments d'aune et de bouleau, et il est à remarquer qu'une partie de plusieurs arbres a été convertie en pyrites de fer. La tourbe repose sur des lits de sable et de cailloux analogues à ceux que l'on rencontre sur les bruyères voisines.

Digitized by Google

Comme la mer aujourd'hui empiète sur ce rivage, on peut supposer qu'à quelque époque ancienne la vallée de Bourne s'étendait plus loin, et que, de même qu'à présent, son extrémité consistait en un terrain marécageux, couvert en partie de sapins. Le marais reposait sur le lit de cailloux que l'on voit maintenant au-dessous de la tourbe ; et la mer, dans ses empiètements progressifs, mettait quelquefois à nu, au moment de la basse mer, ces fondations sableuses, sur lesquelles un courant d'eau douce se précipitant, lors de l'abaissement des marées, entraînait avec lui du sable incohérent. La couche supérieure de matière végétale, consolidée par les racines qui formaient alentour une sorte de tresse, résista quelque temps ; mais plus tard, ayant été minée, elle s'enfonça au-dessous du niveau de la mer, et les vagues y déposèrent du sable et des galets. A l'appui de cette hypothèse, on peut observer que de petits courants d'eau douce passent souvent, en s'infiltrant, sous les couches sableuses du rivage de la mer, ce qui fait que l'on peut les traverser à pied sec. Au point où l'eau reparaît, on la voit entraînant avec elle du sable et même des cailloux.

Minéralisation de plantes. — Quoique jusqu'à présent les botanistes et les chimistes n'aient pu

Digitized by Google

donner une explication complète de la manière dont s'opère la pétrification du bois, il est bien constaté, toutefois, que sous des circonstances favorables, l'acte de la minéralisation se produit aujourd'hui sans discontinuer. M. Stokes a dernièrement trouvé un morceau de bois provenant d'un ancien aqueduc romain construit en Westphalie. Quelques parties de ce bois étaient converties en corps fusiformes, consistant en carbonate de chaux, tandis que le reste n'avait, comparativement, subi aucune altération (*). Il paraît que, dans quelques cas, ce sont les parties les moins durables, et, dans d'autres, celles qui le sont le plus, qui se conservent le mieux. Ces variations dépendent très probablement du moment où la matière minérale a remplacé la matière végétale. Lorsqu'elle se trouve introduite dès le commencement de la décomposition, les parties les plus destructibles sont lapidifiées, tandis que les plus durables, celles qui ne dépérissent que lorsque la matière minéralisante vient à manquer, ne peuvent jamais être pétrifiées. Des circonstances contraires donnent lieu à des résultats tout-à-fait opposés.

Le professeur Göppert, de Breslau, a fait une série d'expériences fort curieuses, dans lesquelles il est parvenu à produire quelques imitations remarquables de pétrifications fossiles. Il plaça des fou-

(*) Géol. Trans., seconde série, vol. V, p. 212.

Digitized by Google

gères récentes entre des couches molles d'argile qu'il fit sécher à l'ombre; puis il les échauffa lentement et graduellement jusqu'au rouge. Cette opération donna pour résultat une imitation si parfaite de plantes fossiles, qu'un géologue, même très exercé, aurait pu s'y tromper. Suivant les différents degrés de chaleur appliqués à l'argile, les plantes se trouvaient de couleur brunâtre, ou à l'état de carbonisation parfaite ; quelquefois, mais plus rarement, elles étaient d'un noir brillant, et adhéraient fortement à la couche d'argile. Si la chaleur rouge était maintenue jusqu'à ce que toute la matière organique fût comburée, il ne restait plus que l'empreinte de la plante.

Le même chimiste fit tremper des plantes dans une solution de sulfate de fer d'une force modérée, et les y laissa pendant plusieurs jours, jusqu'à ce qu'elles fussent complétement imprégnées de ce liquide. Il les fit sécher ensuite, et les maintint à un certain degré de chaleur, jusqu'à ce que tout effet de contraction eût cessé et qu'il ne restât plus aucune trace de matière organique. En les laissant refroidir, il s'aperçut que l'oxide résultant de cette opération avait pris exactement la forme des plantes. Diverses autres expériences furent faites en plongeant des substances animales et végétales dans des solutions siliceuses, calcaires et métalliques, et toutes tendi-

Digitized by Google

rent à prouver que la minéralisation des corps organiques exigeait un temps beaucoup moins long qu'on ne l'avait supposé d'abord (*).

Enfouissement de débris d'insectes.

Parmi les coléoptères dont j'ai observé les élytres et diverses autres parties, dans une bande d'argile fissile placée entre deux lits de marne coquillière récente, dans le lac de Kinnordy (Forfarshire), M. Curtis a reconnu deux espèces encore vivantes en Écosse, « *Elater lineatus* et *Atopa cervina*. » Ces débris, et plusieurs autres qui les accompagnaient, semblaient appartenir, non à des espèces aquatiques, mais à des espèces terrestres, et doivent avoir été introduits dans l'eau vaseuse pendant une inondation. La tourbe lacustre de la même localité renferme une assez grande quantité d'élytres de coléoptères; mais, généralement, les débris provenant de ces insectes sont fort rares dans la vase de nos estuaires, ainsi que dans les dépôts des lacs desséchés. M. Mantell a trouvé dans l'argile bleue récente des plaines de Lewes une multitude d'Indusies, ou étuis de larves de Phryganes, avec de

(*) Göppert, Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie (Annales de Physique et de Chimie de Poggendorff), vol. XXXVIII, part., IV. Leipsick, 1836.

Digitized by Google

petites coquilles appartenant aux genres Planorbis, Limnea, etc., qui y adhéraient (*).

Ainsi qu'on le verra dans la dernière partie de cet ouvrage, où j'ai traité de la migration des insectes, un grand nombre d'entre eux sont tantôt transportés, à l'aide du flottage et par l'intermédiaire des rivières, dans les lacs et les mers, tantôt entraînés loin des terres par les vents. Ils sont doués à tel point de la faculté de se soutenir sur l'eau, qu'à moins de circonstances tout-à-fait exceptionnelles, on ne peut supposer qu'ils tombent au fond; ils deviennent la proie d'animaux insectivores, ou sont décomposés.

Débris de reptiles.

Après la découverte que l'on a faite de plusieurs cadavres de crocodiles dans le limon amené à la mer par l'inondation fluviatile qui accompagna le tremblement de terre ressenti à Java en 1699, on peut supposer que des inondations extraordinaires de limon étouffent un grand nombre des alligators et autres reptiles qui, sous les climats tropicaux, abondent dans les lacs et dans les deltas des fleuves. Parmi les débris entraînés dans la mer

(*) Trans. Geol. Soc., vol. III, part. I, p. 201, seconde série.

Digitized by

par les inondations qui eurent lieu en 1829, dans le Morayshire, on trouva des milliers de grenouilles encore vivantes (*); et il est évident que chaque fois qu'une falaise est démolie, ou que quelque portion de terre ferme est entraînée dans la mer par d'autres causes violentes, des reptiles terrestres peuvent, par suite, s'y trouver transportés.

Débris d'oiseaux.

Il était facile de prévoir que l'ensevelissement des débris d'oiseaux dans des strates récentes ne devait avoir lieu que très rarement, car la faculté de voler dont ces animaux sont doués les garantit de la plupart des accidents auxquels les quadrupèdes sont exposés pendant les inondations. Lors même qu'ils viennent à être noyés, ou à périr pendant qu'ils flottent sur l'eau, presque jamais ils ne sont submergés de manière à être conservés dans des dépôts sédimentaires. Par suite de la structure tubulaire de leurs os et du grand nombre de leurs plumes, ils sont extrêmement légers relativement à leur volume, de sorte qu'au lieu de tomber au fond, dès qu'ils sont morts, comme les quadrupèdes, leurs cadavres flottent à la surface, jusqu'à ce qu'ils se putréfient, ou qu'ils soient dévorés par des animaux de proie. Or,

(*) Sir T. D. Lauder's Account, seconde édition, p. 312.

c'est à ces causes que l'on peut attribuer l'absence de tout vestige d'ossements d'oiseaux dans les marnes récentes d'Écosse, quoique les lacs où elles se sont déposées aient été fréquentés par un très grand nombre d'oiseaux aquatiques, jusqu'au moment où ces lacs furent artificiellement desséchés.

Enfouissement de quadrupèdes terrestres. — Les inondations fluviatiles se reproduisent, dans beaucoup de contrées, à des intervalles très irréguliers, et exercent leurs ravages sur les riches plaines d'alluvion où se réunissent de nombreux troupeaux de quadrupèdes herbivores. Ces animaux sont souvent surpris par les eaux de ces débordements ; et comme ils ne peuvent se mouvoir en sens inverse du courant, ils se trouvent entraînés jusqu'à ce qu'étant noyés, ils tombent immédiatement au fond. Ils sont alors transportés avec le sédiment, soit dans des lacs, soit dans des mers, et ils peuvent être recouverts par une masse de limon, de sable et de cailloux. Mais lorsqu'aucun sédiment ne se dépose sur eux, les gaz engendrés par la putréfaction les font ordinairement remonter à la surface vers le neuvième jour de leur immersion, ou le quatorzième au plus tard. La pression d'une mince couche de limon ne suffirait pas pour les retenir au fond ; car on voit des cadavres de chiens et de

Digitized by Google

chats en putréfaction qui, bien que chargés de poids considérables, flottent même dans les rivières, ce qui doit faire supposer que dans l'eau de mer ils flotteraient encore plus aisément.

Lorsqu'un corps se trouve ainsi enterré dans du sable de transport, ou sous un dépôt de limon qui l'empêche de remonter, le squelette peut se conserver en entier; mais s'il revient à la surface quand une fois la putréfaction a commencé à se manifester, les os alors se détachent ordinairement du cadavre flottant, et tombent par morceaux, de sorte qu'ils sont disséminés au hasard sur le fond du lac, de l'estuaire, ou de la mer. Par suite, une mâchoire peut se trouver dans un endroit, une côte dans un autre, un humérus ailleurs encore, — le tout pouvant être enfermé dans une gangue composée de matériaux fins qui indique soit la faiblesse extrême du pouvoir de transport dont jouissait le courant, soit simplement l'action d'une précipitation chimique.

Un grand nombre de cadavres des animaux noyés sont, dans les climats chauds surtout, dévorés par des requins, des alligators, et par d'autres animaux carnivores organisés de manière à pouvoir digérer les os, dès qu'ils viennent à flotter, soit dans la mer, soit dans un lac; mais lorsque pendant des inondations extraordinaires, une grande quantité d'animaux terrestres se trouvent détruits, les

Digitized by Google

eaux ordinairement sont si troubles, surtout au fond, que les espèces aquatiques elles-mêmes sont forcées de se réfugier sur les points où le liquide est plus clair, pour n'être point étouffées. Or, c'est cette circonstance qui, jointe à la rapidité avec laquelle s'opère dans de pareils moments le dépôt du sédiment, fait supposer que les cadavres des animaux victimes de ces accidents sont enfouis d'une manière permanente.

Inondation dans le Solway Firth, 1794. — Une des inondations les plus remarquables dont notre île ait été le théâtre, dans les temps modernes, est celle qui se répandit sur une partie des côtes méridionales de l'Écosse, le 24 janvier 1794, et qui occasionna de très grands ravages dans le pays avoisinant le Solway Firth.

Le capitaine Napier rapporte que des pluies considérables ayant gonflé tous les courants qui débouchaient dans le Solway Firth, l'inondation qui s'ensuivit emporta non seulement un grand nombre de bêtes à cornes et de moutons, mais aussi des pâtres et des bergers, dont les corps furent entraînés dans l'estuaire. Lorsqu'après l'orage les eaux commencèrent à s'abaisser, un spectacle extraordinaire s'offrit à la vue, sur le grand banc de sable désigné sous le nom de « the beds of Esk, » où il y a

Digitized by Google

une rencontre de deux courants de marée, et où, ordinairement, après de grandes inondations, les corps pesants viennent échouer. Sur ce seul banc furent trouvés pêle-mêle 3 cadavres humains, 9 vaches ou bœufs, 3 chevaux, 1,840 moutons, 45 chiens, 180 lièvres, et un grand nombre d'animaux plus petits (*).

Inondations en Écosse, 1829. — Les dernières inondations qui, dans le mois d'août 1829, se manifestèrent en Écosse, donnèrent lieu à une scène de désolation effroyable, dans un des districts les plus fertiles de la côte orientale de cette contrée. Une grande quantité d'animaux et de plantes terrestres furent entraînés par le flot de l'inondation, puis retrouvés, après l'orage, disséminés autour de l'embouchure des principaux cours d'eau. Un témoin oculaire de la scène qui eut lieu à l'embouchure de la Spey, dans le Morayshire, la raconte en ces termes : — « On voyait, sur une étendue de plusieurs milles, le long du rivage, une multitude de gens s'efforçant de sauver les bois et les autres débris dont la marée était chargée, tandis que le bord de la mer était jonché de squelettes d'animaux domestiques, et de millions de lièvres et de lapins morts (**). »

(*) Treatise on Practical Store Farming, p. 25.

(**) Sir T. D. Lauder's Floods in Morayshire, 1829, p. 312

Savanes de l'Amérique du Sud. — M. de Humboldt nous apprend que lors des crues périodiques des grandes rivières de l'Amérique du Sud, des quantités considérables de quadrupèdes sont noyées annuellement. C'est ainsi que les chevaux sauvages qui paissent par troupeaux immenses dans les savanes, sont entraînés par milliers dans l'Apure, avant d'avoir le temps d'atteindre les hautes terres du Llanos, lorsque les eaux de ce tributaire de l'Orénoque viennent à gonfler. Pendant la saison des hautes eaux, on voit des juments, suivies de leurs poulains, nageant et se nourrissant d'herbes dont le sommet seul dépasse le niveau des eaux. Dans cet état, elles sont poursuivies par des crocodiles, et leurs cuisses portent souvent l'empreinte des dents de ces reptiles carnivores. « Telle est, « observe le célèbre voyageur », la flexibilité de l'organisation des animaux que l'homme a assujettis à sa domination, que les chevaux, les vaches, et plusieurs autres espèces d'origine européenne, peuvent, pendant un certain temps, mener une vie amphibie, entourés de crocodiles, de serpents d'eau et de lamantins. Quand les rivières rentrent dans leurs lits, ils bondissent dans la savane, qui, alors, est parsemée d'une herbe fine et odo-

seconde édition. — Voyez aussi le Chapitre Ier de ce volume.

Digitized by Google

rante, et jouissent, comme dans leur climat natal, du renouvellement printanier de la végétation (*). »

Débordements du Parana. — Nous avons déjà parlé du grand nombre d'animaux qui, pendant les saisons de pluie, sont noyés dans les tributaires de la Plata. Sir W. Parish rapporte que le Parana, qui sort des montagnes du Brésil et se décharge dans l'estuaire de la Plata, est sujet à de grands débordements, pendant l'un desquels une énorme quantité de bétail fut détruite en 1812. « Quand les eaux commencèrent à se retirer, et que les îles qu'elles avaient couvertes redevinrent visibles, l'atmosphère fut pendant longtemps empoisonnée par les miasmes qui se dégageaient des squelettes de capiguaras, de tigres et de plusieurs autres animaux sauvages qui avaient été noyés (**). »

Débordements du Gange. — Tous ceux qui ont décrit le Gange et le Barrampooter s'accordent à dire que ces fleuves entraînent avec eux, au moment de l'inondation, non seulement des quantités considérables de roseaux et de bois, mais aussi des cadavres d'hommes, de daims et de bœufs (***).

(*) Humboldt's, Pers. Nar. (Relation Hist., par M. de Humboldt), vol. IV, p. 394-396.

(**) Buenos-Ayres et La Plata, p. 187.

(***) Malte-Brun.

Digitized by Google

Inondations qui ont eu lieu à Java en 1699 *et en* 1822. — On trouvera plus loin (*) la description d'une inondation qui accompagna le tremblement de terre violent que l'on ressentit à Java le 5 janvier 1699. Une autre, plus récente, eut lieu en 1822, sur la côte occidentale de la même île, dans le territoire de Galong-goung, à la suite d'une terrible éruption volcanique (**).

Lors de cette dernière inondation, la rivière Tandoi entraîna plusieurs centaines de cadavres de rhinocéros et de buffles ; et plus de cent personnes, tant hommes que femmes, furent noyées en même temps. Nous ignorons si tous ces corps atteignirent la mer, ou s'ils furent déposés, avec d'autres matières transportées, sur quelqu'une des grandes plaines d'alluvion qui se trouvaient dans la direction des eaux débordées.

Inondations à Sumatra. — « J'ai vu, » dit Heynes, « sur la côte d'Orissa, des tigres, des troupeaux entiers de gros bétail, et des arbres énormes, entraînés par des crues d'eau (***). »

Dans la Virginie, 1771. — Je pourrais citer un grand nombre de déluges locaux qui, principalement

(*) Voir vol. III, ch. VIII du présent ouvrage.
(**) Vol. III, ch. V.
(***) Tracts on India (Esquisses sur l'Inde), p. 307.

Digitized by Google

dans les régions tropicales, se sont répandus sur les terres fertiles situées au bord de grands fleuves; mais une telle énumération surpasserait les limites assignées à cet ouvrage. Je ferai remarquer seulement que la destruction des îles, dans les rivières, est souvent accompagnée de la perte d'un grand nombre d'individus. Ainsi, lorsqu'en 1771, la rivière principale de la Virginie s'éleva de vingt-cinq pieds (7m,16) au-dessus de son niveau ordinaire, elle entraîna entièrement l'île d'Elk, sur laquelle se trouvaient près d'une centaine de maisons et 700 quadrupèdes, — chevaux, bœufs, moutons et cochons (*).

Le lecteur conclura de ce qui a été dit précédemment au sujet de l'accumulation des sédiments par les causes aqueuses, que le plus grand nombre des débris de quadrupèdes entraînés par les rivières doivent être arrêtés par des lacs, ou ensevelis dans les formations d'eau douce près des embouchures des rivières, avant qu'ils atteignent la mer. Quant à ceux qui sont transportés plus loin, il est probable qu'ils remontent à la surface lorsqu'ils sont en putréfaction. Dans ce cas, ils sont dévorés par des animaux de proie aquatiques, ou tombent en quelque point où il ne se dépose aucun sédiment, et

(*) Scots Mag., vol. XXXIII.

où, par suite, il ne restera d'eux aucun vestige, dans le cours des temps.

Squelettes d'animaux trouvés dans une marne coquillière récente, en Ecosse. — Quelquefois on rencontre un très grand nombre de squelettes de quadrupèdes dans des marnes coquillières récentes d'Ecosse, où l'on ne peut supposer qu'ils aient été ensevelis par l'action des rivières ou des inondations. Ils appartiennent tous à des espèces qui habitent actuellement l'Ecosse, ou que l'on sait avoir été originaires de cette contrée. Des fouilles pratiquées dans la marne coquillière de cinq ou six petits lacs du Forfarshire ont fait découvrir, dans le siècle dernier, les débris de plusieurs centaines de squelettes. Ceux du cerf commun (*Cervus elaphus*) sont les plus nombreux; viennent ensuite, par ordre d'abondance, ceux du bœuf, du cochon, du cheval, du mouton, du chien, du lièvre, du renard, du loup et du chat. Le castor semble y être extrêmement rare; mais on l'a trouvé dans la marne coquillière du lac Marlie, en Perthshire, ainsi que dans la paroisse d'Edrom, en Berwickshire.

Dans la plus grande partie de ces dépôts lacustres, on ne retrouve aucune trace d'inondations; il est vrai que les débordements étaient à l'origine si peu considérables, que le plus petit des divers qua-

drupèdes qui viennent d'être cités aurait pu traverser à la nage les lacs en question. Il est probable que des daims, ainsi que plusieurs autres espèces qui se mettent à l'eau facilement, ont été souvent embourbés en essayant de prendre pied sur le fond, qui était mou et marécageux, et dans lequel ils s'enfonçaient davantage à mesure qu'ils faisaient plus d'efforts pour en sortir. Je suppose que plusieurs individus d'espèces différentes sont tombés dans ce terrain fangeux en traversant, pendant l'hiver, sa surface gelée; car rien n'est plus dangereux que la glace quand elle est recouverte de neige, à cause du grand nombre de sources qui sourdent en-dessous, à une température constante, et qui rendent la glace extrêmement mince en quelques points, tandis qu'ailleurs elle est assez forte pour supporter les poids les plus lourds.

Débris de mammifères trouvés dans des strates marines. — Comme la tourbe et les lacs analogues à ceux que nous venons de décrire, renferment souvent un très grand nombre d'ossements de mammifères, il peut arriver quelquefois que les empiétements de la mer sur une côte mettent à découvert les squelettes qui y sont enfouis, et par suite les exposent à être entraînés par les marées et par les courants, et à être ensevelis dans des formations sous-aqueuses.

Digitized by Google

Quelques uns des petits quadrupèdes qui creusent le sol, ainsi que les reptiles et toutes les espèces de plantes, sont sujets à être engloutis dans les vagues par cette même cause, qui ne doit pas être négligée, quoique probablement elle soit de bien peu d'importance, comparativement aux nombreux agents qui concourent à l'ensevelissement des débris organiques terrestres dans les strates sous-marines.

Pendant le tremblement de terre violent qui eut lieu à la Conception, en 1835, quelques bestiaux qui se trouvaient sur les pentes escarpées de l'île de Quiriquina furent précipités dans la mer par le choc; en même temps, soixante-dix animaux, qui étaient sur une île basse située à l'extrémité supérieure de la baie de la Conception, furent entraînés par une grande vague, et noyés (*).

(*) Darwin's Journal, p. 372.

Digitized by Google

CHAPITRE XIII.

ENFOUISSEMENT DE DÉBRIS HUMAINS ET D'OUVRAGES DUS A L'INDUSTRIE DE L'HOMME, DANS DES STRATES SOUS-AQUEUSES.

Transport de corps humains à la mer par des inondations fluviatiles. — Destruction de ponts et de maisons. — Morts occasionnées par des naufrages. — Comment des corps humains peuvent être conservés dans des dépôts récents. — Nombre de vaisseaux naufragés. — Squelettes fossiles d'hommes. — Canots, vaisseaux et ouvrages d'art fossilisés. — Changements chimiques observés dans des objets métalliques après un long séjour dans l'eau. — Ensevelissement de villes et de forêts dans des strates sous-aqueuses, par suite de l'affaissement du sol. — Tremblement de terre au Kotch, en 1819. — Arguments de Berkley en faveur de l'origine récente de l'homme. — Dernières remarques et conclusions.

Nous allons examiner maintenant comment les débris humains et les ouvrages dus à l'industrie de l'homme peuvent être conservés d'une manière permanente dans les strates sous-aqueuses. Tous les vestiges résultant des centaines de millions d'êtres

Digitized by Google

humains qui périssent, chaque siècle, sur la portion solide du globe, sont généralement détruits dans le cours de quelques milliers d'années; tandis qu'une partie considérable des débris provenant des individus bien moins nombreux qui trouvent la mort dans les eaux, peut se conserver pendant des périodes géologiques entières.

Des cadavres humains sont quelquefois transportés, avec des squelettes d'animaux inférieurs, dans des mers et dans des lacs, pendant des inondations fluviatiles (*). Belzoni fut témoin, en septembre 1818, d'une inondation du Nil qui, bien que le fleuve n'eût dépassé que de trois pieds et demi (1m,07) son niveau ordinaire, entraîna divers villages, avec plusieurs centaines d'hommes, de femmes et d'enfants (**). Nous avons vu déjà (p. 189), qu'en 1763, une crue de six pieds (1m,83), dans le Gange, occasionna la mort d'un nombre d'individus bien plus considérable encore.

En 1771, époque à laquelle les inondations qui ont lieu souvent dans le nord de l'Angleterre paraissent avoir égalé celles qui, récemment, se sont manifestées dans le Morayshire, un grand nombre de maisons furent emportées, avec leurs habitants,

(*) Voyez p. 449 et 452 de ce volume.

(**) Narrative of Discovery in Egypt, etc. Londres, 1820.

Digitized by Google

par les rivières Tyne, Can, Wear, Tees et Greta, qui, dans leur cours, démantelèrent vingt et un ponts. Au village de Bywell, l'inondation arracha du cimetière les cercueils et les corps qu'ils renfermaient, et les entraîna avec plusieurs individus vivants. Pendant le même orage, une immense quantité de bétail, de chevaux et de moutons, furent aussi transportés dans la mer, dont le rivage était entièrement couvert de débris de vaisseaux. Quatre siècles auparavant (en 1338), le même district avait été pareillement désolé par des pluies considérables suivies d'inondations désastreuses, ce qui tend à faire supposer que ces catastrophes reviennent périodiquement, quoiqu'à des intervalles non déterminés. L'augmentation de la population, et celle des bâtiments et des ponts, doivent faire craindre que le nombre des individus et des propriétés atteints par ce fléau n'aille aussi en croissant (*).

Fossilisation de corps humains dans le lit de la mer. — Si aux centaines de cadavres humains jetés à la mer pour qu'ils y trouvent leur sépulture, on ajoute ceux des individus qui périssent dans les naufrages, on reconnaîtra combien est considérable le nombre de débris humains qui, dans le cours d'une

(*) Scots Mag., vol. XXXIII, 1771.

Digitized by Google

seule année, se trouvent ainsi confiés aux régions sous-aqueuses. D'après un calcul, dans les détails duquel j'entrerai tout-à-l'heure, il paraît que plus de cinq cents vaisseaux, du port moyen de 120 tonneaux, et appartenant tous à la marine britannique, font naufrage et sont coulés à fond *chaque année;* le plus ordinairement l'équipage de ces bâtiments est sauvé, quoique parfois, pourtant, il leur arrive de périr, corps et biens. Dans une grande action navale, on a vu quelquefois plusieurs milliers d'individus trouver leur tombe dans l'Océan.

Un grand nombre de ces corps sont dévorés par des poissons, avant même qu'ils aient atteint le fond; plus souvent, cependant ils ne deviennent leur proie qu'au moment où, entrant en putréfaction, ils remontent et flottent à la surface. D'autres se décomposent sur le fond de l'Océan, en des points où aucun sédiment ne les recouvre; mais lorsqu'ils viennent à tomber, soit sur un récif où des coraux et des coquilles sont en voie de s'agglutiner de manière à constituer une roche solide, soit sur quelque point où se forme le delta d'une rivière, ils peuvent alors se conserver pendant un nombre de siècles incalculable.

Il arrive souvent qu'à la distance de quelques centaines de pieds d'un récif de coraux, là où les naufrages sont fréquents, la sonde ne touche

Digitized by Google

pas le fond, même à la profondeur de plusieurs centaines de brasses; et il se peut que des canots, des bâtiments marchands et des vaisseaux de guerre aient sombré en de semblables points, et y aient été enveloppés dans des brèches et des sables calcaires, détachés par les brisants du sommet de quelque montagne sous-marine. Si une éruption volcanique venait à couvrir ces débris de cendres et de sable, et qu'ensuite un courant de laves se répandît sur eux, les vaisseaux et les squelettes humains pourraient se maintenir intacts sous la masse supérieure, comme le sont les maisons et les objets d'art que renferment les villes souterraines de la Campanie. Il se peut aussi que, déjà, un grand nombre de débris humains se trouvent ainsi ensevelis et conservés sous des formations de plus de mille pieds (300^{m} environ) d'épaisseur; car il y a des archipels volcaniques où une période de trente ou quarante siècles pourrait suffire à la production d'une pareille accumulation.

Il a été constaté qu'à la distance de quarante milles (un peu plus de 14 lieues) environ de la base du delta du Gange, il se trouve un espace circulaire de près de quinze milles (5 lieues) de diamètre, où, quelquefois, des sondages de 600 à 800 pieds (183 à 244^{m}) n'atteignent pas le fond (*). La quantité de limon et

(*) Voir page 184 de ce volume.

Digitized by Google

de sable que plusieurs grands fleuves déposent dans le golfe du Bengale, pendant la saison des inondations, est si considérable, que la mer ne reprend sa transparence qu'à la distance de soixante milles (près de 28 lieues) de la côte. Il suit de là que la dépression dont nous venons de parler doit se combler graduellement; cela, d'ailleurs, est d'autant plus probable, qu'à l'époque où règnent les moussons, la mer, chargée de limon et de sable, est repoussée dans cette direction vers le delta. Or, si un vaisseau ou un squelette humain vient à se perdre en un tel point, il n'y a rien d'impossible à ce que, dans l'espace d'un millier d'années, il se trouve enterré à la profondeur de mille pieds (plus de 300^{m}) dans le sédiment.

La partie même du fond de l'Océan où il ne se dépose aucune matière de transport, et qui, probablement, constitue, à une époque donnée, la portion la plus considérable, à beaucoup près, des espaces sous-marins, ne laisse pas d'offrir, quand un naufrage a lieu, des circonstances favorables à la conservation des squelettes. Lorsque, pendant la nuit surtout, un bâtiment vient à faire eau subitement, ceux des marins et des passagers qui se trouvent surpris entre les ponts et dans leurs cabines sont noyés, sans que leur corps puisse revenir à la

Digitized by Google

surface. Souvent le vaisseau frappe sur un fond inégal, et est renversé; dans ce cas, le lest, qui consiste en sable, en galets et en fragments de roches, ou bien la cargaison, qui, d'ordinaire, se compose de matériaux durables et pesants, peut encore tomber sur les corps, et les recouvrir. Quand ce sont des vaisseaux de ligne, les canons, les boulets et autres provisions de guerre pressent de tout leur poids sur la carcasse du bâtiment, à mesure que le bois se décompose : aussi la conservation des ossements humains est-elle assurée quand ils se trouvent sous ces débris et sous les substances métalliques.

Nombre de vaisseaux naufragés. — Lorsqu'on réfléchit au nombre de monuments curieux qu'a engloutis l'Océan dans le cours de chaque guerre navale qui a eu lieu depuis les temps les plus anciens, on voit encore s'accroître la multitude de souvenirs durables que l'homme laisse après lui de ses travaux. Pendant les dernières guerres de l'Angleterre avec la France, 32 vaisseaux de ligne appartenant à la marine britannique coulèrent à fond dans l'espace de vingt-deux ans, sans compter 7 vaisseaux de 50 canons, 86 frégates et un très grand nombre de bâtiments plus petits. Les flottes des autres puissances européennes, telles que la

Digitized by Google

France, la Hollande, l'Espagne et le Danemark, furent, pendant cette même période, presque entièrement détruites ; de sorte que la totalité de leurs pertes doit avoir excédé de beaucoup celles de la Grande-Bretagne. Chacun de ces vaisseaux renfermait des batteries de canons en fer ou en cuivre, dont un grand nombre portaient l'inscription, en caractères fondus, de la date de leur fabrication et du nom de la manufacture d'où ils étaient sortis. Ils contenaient tous des pièces de monnaie en cuivre, en argent, et souvent en or, formant autant de monuments historiques précieux. Ils renfermaient aussi une multitude d'instruments divers, relatifs aux arts de la paix et de la guerre ; plusieurs étant de verre et de poterie, pouvaient durer des temps indéfinis, une fois placés hors d'atteinte de l'action mécanique des vagues, et ensevelis sous une masse de matière qui pût les garantir de l'action corrosive de l'eau de mer. De plus, la quantité de bois de charpente qui se trouve transportée de la terre ferme dans l'Océan, par suite du nombre de vaisseaux de grande dimension qui coulent bas, est énorme; car on a calculé que la construction d'un vaisseau de 74 canons exige 2,000 tonneaux de bois. Or, supposant qu'un acre de terrain puisse fournir cinquante chênes de cent ans, il ne faudrait pas moins d'une étendue de quarante acres (16",187),

de forêt de chênes pour fournir à la construction d'un seul de ces vaisseaux (*).

On se tromperait beaucoup si l'on supposait que les fureurs de la guerre contribuent plus que l'esprit pacifique du commerce à l'accumulation de vaisseaux naufragés dans le lit de la mer. Le capitaine W. H. Smyth a calculé, d'après les listes du Lloyd, pour les années comprises entre 1793 et le commencement de 1829, que le nombre de vaisseaux perdus pendant cette période par la marine britannique seulement, donne une moyenne de un et demi *par jour*, au moins; chiffre qu'il eût été difficile de prévoir, quoique les tables de Moreau indiquent que le nombre de vaisseaux marchands employés à la même époque par l'Angleterre et l'Écosse, est de 20,000 environ, du port moyen de 120 tonneaux (**). Mon ami M. J.-L. Prevost m'informe aussi qu'en examinant les listes du Lloyd pour les années 1829, 30 et 31, il a trouvé qu'il avait été perdu 1,953 vaisseaux dans cet espace de trois ans; leur port moyen était à peu près de 150 tonneaux, ce qui fait environ 300,000 tonneaux pour le tout, ou

(*) Quart Journ. of Agricult. (Journal Trimestriel d'Agriculture.) N° IX, p. 433.

(**) Cæsar Moreau's Tables of the Navigation of Great Britain. (Tables de la Navigation de la Grande-Bretagne, par César Moreau.)

Digitized by Google

100,000 par an, — quantité énorme pour la marine marchande d'une seule nation. Cet accroissement de perte tient, je suppose, à un accroissement d'activité dans les relations commerciales.

Sur 551 vaisseaux de la marine royale que perdit l'Angleterre pendant la période ci-dessus mentionnée, 160 seulement furent pris ou détruits par l'ennemi; tout le reste échoua, coula à fond, ou fut brûlé par accident, ce qui prouve que quelque grands que soient les dangers inhérents à notre service naval, ils peuvent être de beaucoup surpassés par ceux qu'occasionnent les orages, les écueils, les échouages et tous les autres périls que présente l'Océan (*).

De la nature durable de certains objets contenus dans les vaisseaux naufragés. — Des millions de dollars en argent, et diverses autres monnaies ont été quelquefois submergés dans un seul vaisseau. Or, quand ces monnaies viennent à être enveloppées dans une gangue capable de les garantir de toute altération chimique, elles conservent ainsi des indications historiques du plus haut intérêt, qui dureront pendant des périodes de temps aussi étendues

(*) Ces renseignements sont dus au capitaine W. H. Smyth, de la marine royale.

que les empreintes délicates de zoophytes ou de plantes fossiles que l'on observe dans les roches secondaires anciennes. Il se trouve, en outre, dans presque tous les grands vaisseaux, des pierres précieuses taillées en cachets, et d'autres objets de luxe ou d'utilité, formés des substances les plus dures, et sur lesquels sont gravées des lettres et diverses images qui, lorsque ces objets sont renfermés dans des strates sous-aqueuses, peuvent s'y maintenir aussi longtemps qu'un cristal conserve sa forme naturelle.

C'est donc par suite d'une exagération toute poétique que la chronique de Henry, en parlant des exploits de la chevalerie anglaise à Azincourt, la représente :

> As rich with praise
> As is the ooze and bottom of the deep
> With sunken wreck and sumless treasuries (1) ;

car il est très probable que, dans le cours des siècles, le lit de l'Océan recèlera un plus grand nombre de monuments des arts et des travaux humains qu'à quelque époque que ce soit il n'en existera à la surface des continents.

(1) « Comme étant aussi riche de gloire que la vase et le fond de l'Océan sont riches de débris naufragés et d'innombrables trésors. »

Digitized by Google

avec eux. » Dans le delta du Gange, on a découvert des ossements humains en creusant un puits à la profondeur de quatre-vingt-dix pieds (27m) (*); mais comme ce fleuve est très sujet à changer de cours et à combler ses anciens canaux, rien n'autorise à supposer que ces débris soient d'une très grande antiquité, ou qu'ils aient été déjà ensevelis lorsque la partie du Delta environnant où ils se trouvent fut soustraite à la mer.

Squelettes humains fossiles. — On a découvert plusieurs squelettes humains, plus ou moins mutilés, sur la côte N.-O. de la Grande-Terre de la Guadeloupe, dans une roche actuellement en voie de se former, et consistant en parcelles de coquilles et de coraux, unies par un ciment calcaire analogue au travertin. On reconnaît à la loupe que plusieurs de ces fragments ont la même teinte rouge qu'une partie des coraux contenus dans les récifs de l'île. Les coquilles appartiennent à des espèces de la mer environnante, auxquelles sont mêlées quelques espèces terrestres, qui vivent encore aujourd'hui sur l'île; parmi ces coquilles on remarque principalement le *Bulimus Guadalupensis* de Férussac. Les squelettes humains conservent encore

(*) Von Hoff, vol. I, p. 379.

Digitized by Google

une partie de leur matière animale et tout leur phosphate de chaux. Un d'entre eux, auquel la tête manque, se voit aujourd'hui au Muséum Britannique, et un autre au Cabinet d'histoire naturelle de Paris. Suivant M. König, la roche dans laquelle le premier est renfermé résiste plus à la scie et au ciseau que le marbre statuaire. Elle est décrite comme formant une espèce de glacis, dont l'origine semble devoir être attribuée à un rivage solidifié, qui s'incline à partir des bords escarpés de l'île, et que l'eau recouvre en grande partie à la haute mer.

Des formations semblables sont en voie de se produire sur tous les points de l'archipel des Antilles; elles ont considérablement agrandi la plaine des Cayes à Saint-Domingue, où l'on a trouvé, à la profondeur de vingt pieds (6^{m}), des fragments de vases et de plusieurs autres ouvrages dus à l'industrie de l'homme. En creusant des puits près de Catane, en Sicile, on a rencontré aussi divers outils, dans une roche à peu près semblable.

Vaisseaux, canots et objets d'art enfouis dans des couches sous-aqueuses. — Quand un vaisseau échoue dans une partie de la mer peu profonde, il devient ordinairement le noyau d'un banc de sable, ainsi que cela a eu lieu dans plusieurs de nos

Digitized by Google

ports, et cette circonstance contribue à sa conservation. De 1780 à 1790, un vaisseau venant de Purbeck, avec une charge de 300 tonneaux de pierre, frappa contre un haut-fond, à la hauteur de l'entrée de Poole-Harbour, et sombra; l'équipage fut sauvé, mais le vaisseau et la cargaison sont, jusqu'à ce jour, restés dans la mer. Depuis cette époque, le haut-fond situé à l'entrée du port s'est tellement étendu vers l'ouest, du côté de Peveril-Point, dans la presqu'île de Purbeck, que le canal navigable se trouve maintenant à un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) plus près de ce point (*). Un tel fait s'explique aisément quand on considère que le courant de la marée doit nécessairement déposer le sédiment dont il est chargé, autour des objets qui entravent sa marche. De même, la matière entraînée sur le fond est arrêtée aussi par tout ce qui lui fait obstacle, et s'y accumule, comme lorsque les tempêtes de sable qui ont lieu quelquefois en Afrique forment une petite colline sur chaque cadavre de chameau qui se rencontre à la surface du désert.

Dans un des chapitres précédents, j'ai fait mention d'un ancien vaisseau hollandais trouvé dans le canal abandonné du Rother (Sussexshire), et dont le bois, qui était en chêne, avait beaucoup noirci,

(*) Ces renseignements nous ont été fournis par l'honorable Ch. Harris.

Digitized by Google

sans que sa texture fût altérée (*). L'intérieur était rempli de vase fluviatile, comme celui de deux autres vaisseaux découverts, l'un dans un ancien lit de la Mercey, et l'autre à l'endroit de la plaine alluviale de la Tamise où les docks de Sainte-Catherine ont été creusés. On a trouvé aussi plusieurs vaisseaux, conservés en entier, dans des strates modernes, formées par l'envasement des estuaires qui s'étendent le long des rivages méridionaux de la Baltique, surtout dans la Poméranie. Entre Bromberg et Nakel, par exemple, on a découvert, loin de la mer, un vaisseau et deux ancres en parfait état de conservation (**).

Dernièrement, on a trouvé plusieurs vaisseaux à moitié enterrés dans le delta de l'Indus, dans les nombreux canaux abandonnés de ce fleuve, et loin du lit où il coule maintenant. Un de ces vaisseaux, découvert près de Vikkar, dans le Sind, était du port de 400 tonneaux; son mode de construction indiquait un système ancien, et il était percé de quatorze ouvertures disposées pour recevoir un pareil nombre de canons. Il a été mis en doute que de grands bâtiments aient pu jamais naviguer sur l'Indus, dans la région où on le trouva (***).

(*) Page 285 du présent volume.

(**) Von Hoff, vol. I, p. 368.

(***) Lieutenant Carless, Geograph. Journ., vol. VIII, p. 338.

Digitized by Google

A l'embouchure d'une rivière de la Nouvelle-Écosse, une goëlette de 32 tonneaux, chargée d'animaux, était placée de manière à présenter son bord à la marée, lorsque la « barre ou mascaret, » qui, en cet endroit, s'élève à peu près de dix pieds (3m) en hauteur perpendiculaire, se précipita dans l'estuaire, et retourna le vaisseau de telle sorte qu'il disparut aussitôt. Lorsque la marée fut abaissée, la goëlette se trouva si profondément enterrée dans le sable, que son couronnement, ou lisse supérieure, placé au-dessus de la poupe, restait seul visible (*). Leigh rapporte qu'en desséchant le lac Martin, dont la circonférence est de dix-huit milles (6l), on a trouvé huit canots enfouis dans un lit de marne qui fut mis à découvert. Sous le rapport des dimensions et de la forme, ils ne différaient point de ceux dont se servent aujourd'hui les Américains. Dans un marais situé à près de neuf milles (3l) de ce lac, on découvrit une pierre à aiguiser et une hache en métal (**). On trouva aussi, il y a quelques années, trois canots dans le lac Doon (Ayrshire); puis, en 1831, quatre autres qui avaient été taillés dans des chênes.

(*) Silliman's Geol. Lectures, p. 78, who cites Penn. (Leçons de Géol., par Silliman, dans lesquelles l'auteur cite Penn.)

(**) Leigh's Lancashire (sur le Lancashire, par Leigh), p. 17,—1700.

Digitized by Google

Ils avaient vingt-trois pieds (7^{m}) de longueur, deux et demi (72^{c}) de profondeur, et près de quatre (1^{m}, 22) de largeur à la poupe. Le limon dont un de ces canots était rempli contenait une massue en chêne et une hache d'armes en pierre. Enfin, en 1820, on déterra un canot en chêne, de la tourbe qui recouvre la marne coquillière du lac de Kinnordy, dans le Forfarshire (*).

De quelle manière les vaisseaux se conservent dans une mer profonde. — Il est très possible que la carcasse des vaisseaux qui ont sombré dans les endroits où la mer a deux ou trois milles ($\frac{2}{3}$ de l. à 1 l.) de profondeur, ait, dans un espace de temps égal, subi de plus grands changements chimiqnes que ceux dont il a été fait mention dans les exemples précédents. Les expériences de Scoresby ont démontré qu'à de certaines profondeurs, le bois est susceptible de s'imbiber, dans le court espace d'une heure, d'une quantité d'eau salée suffisante pour que sa pesanteur spécifique soit entièrement changée. Il se peut que souvent des sources chaudes chargées de carbonate de chaux, de silice, ou d'autres substances minérales, sourdent à de grandes profondeurs, et qu'alors tous les pores du tissu végétal se trouvent imprégnés du

(*) Geol. Trans., seconde série, vol. II, p. 87.

Digitized by Google

liquide lapidifiant calcaire, ou siliceux, avant que la moindre décomposition ne commence à se manifester. Il est à croire aussi que la conversion du bois en lignite s'opère avec d'autant plus de rapidité que la pression est plus considérable; toutefois, la transformation du bois de charpente en lignite, ou en charbon, n'empêcherait pas de distinguer la forme originaire d'un vaisseau; car, en songeant aux strates de l'époque carbonifère, à l'écorce d'arbres à tiges creuses, comme les roseaux, transformée en charbon, et à l'intérieur de ces tiges rempli de grès, on peut se figurer ce que serait un vaisseau amené à l'état de charbon, tandis que le limon durci, le grès ou le calcaire rempliraient l'intérieur: peut-être y découvrirait-on quelques débris d'ouvrages dus à l'industrie de l'homme, du lest consistant en roches étrangères au reste de la strate, et divers autres objets provenant de la cargaison du vaisseau.

Submersion de substances métalliques. — Plusieurs des substances métalliques qui tombent dans l'eau perdent probablement, par la suite des siècles, les formes qui leur avaient été données: cependant, sous certaines circonstances, elles peuvent se conserver pendant des temps indéfinis. Il est à croire que le canon que l'on a trouvé encastré dans une

Digitized by Google

roche calcaire extraite du delta du Rhône, et qui est aujourd'hui au muséum de Montpellier, aurait pu durer aussi longtemps que la gangue calcaire; toutefois, lors même que la matière métallique eût disparu pour former quelque combinaison nouvelle, toujours est-il qu'elle aurait laissé un moule de sa forme originaire, analogue aux empreintes de coquilles que l'on observe dans un grand nombre de roches, et dont tout le carbonate de chaux a disparu. Vers l'année 1776, dit M. King, quelques pêcheurs, en draguant pour retrouver des ancres dans le « Gull stream » (nom sous lequel on désigne une certaine portion de la mer qui avoisine les Dunes), amenèrent un ancien canon, d'une construction fort curieuse, et de huit pieds (2^{m},44) de long à peu près. Le canon proprement dit, dont la longueur pouvait être de cinq pieds (1^{m},52), était en cuivre; mais l'anse avait environ trois pieds (91^{c}) de long, et le pivot sur lequel il tournait était en fer. Autour de ceux-ci il s'était formé des incrustations de sable converti en une sorte de pierre excessivement compacte et dure. Le canon était exempt de ces incrustations, excepté toutefois aux endroits les plus rapprochés des pièces de fer. La plus grande partie en était aussi nette, et en aussi bon état, que s'il n'eût jamais cessé de servir. La pierre incrustante qui le recouvrait ex-

térieurement renfermait des coquilles et des corallines « telles, exactement, qu'on les trouve souvent à l'état fossile ; » mais elles adhéraient si fortement à la gangue, qu'il fallait autant de force pour les en détacher « que pour briser un fragment de roche très dure (*). »

En 1745, continue le même auteur, le vaisseau de guerre, *le Fox*, échoua sur la côte de l'East Lothian, et fut réduit en pièces. Environ trente-trois ans après, un violent orage mit à découvert une partie des débris provenant de ce naufrage, et ramena, près de la place où le sinistre avait eu lieu, plusieurs masses « consistant en fer, en cordages et en boulets de canon, » qui étaient couverts d'un sable ocreux, agglutiné et durci au point de former une sorte de pierre. La matière dont était composée la corde n'avait subi qu'une très faible altération, et, sur le sable agglutiné, on observait des empreintes parfaites de portions d'un anneau de fer « tout-à-fait semblables aux empreintes des corps fossiles que l'on rencontre dans diverses strates (**). »

Après un orage qui eut lieu en 1824, et qui occasionna un déplacement considérable dans les sables voisins de St.-Andrew's, en Ecosse, on

(*) Phil. Trans., 1779.

(**) Phil. Trans. vol. LXIX, 1779.

Digitized by Google

trouva un canon de fusil de construction ancienne, que l'on suppose avoir appartenu à un des vaisseaux naufragés de la flotte d'Espagne. Il fait partie aujourd'hui du muséum de la Société des Antiquaires d'Écosse, et est enchâssé dans une mince couche de sable, dont les grains sont cimentés par une substance ferrugineuse brunâtre. A cette enveloppe adhèrent des fragments de diverses coquilles, telles que la bucarde commune, la mye, etc.

On rapporte plusieurs autres exemples d'instruments de fer ramenés du fond de la mer près des côtes britanniques, et couverts d'une couche épaisse de conglomérat, consistant en cailloux et en sable cimentés par de l'oxide de fer.

M. Davy décrit un casque de bronze, d'une forme grecque antique, retrouvé en 1825 dans une partie basse de la mer, entre la citadelle de Corfou et le village de Castrades. L'intérieur et l'extérieur de ce casque étaient partiellement incrustés de coquilles et d'un dépôt de carbonate de chaux. La surface offrait, en général, tant en dessous de l'incrustation que dans les parties restées à nu, une couleur bigarrée, résultant d'un mélange de mouchetures vertes, rouges et blanchâtres. En l'examinant attentivement à la loupe, on reconnaissait que les taches vertes et rouges consistaient en cristaux de carbonate et d'oxide rouge de cuivre, et que

Digitized by Google

les points blanchâtres étaient pour la plupart de l'oxide d'étain.

L'action minéralisante qui a donné lieu à ces nouvelles combinaisons a, en général, dit le Dr Davy, très peu pénétré dans le bronze dont le casque est formé; car, dès qu'on ôte l'incrustation et la rouille qui le couvrent, on aperçoit le brillant du métal. En quelques points, il est excessivement corrodé; en d'autres, il l'est fort peu. D'après l'analyse qui en a été faite, sa composition offre un mélange de cuivre et de 18,5 pour cent d'étain. Sa couleur ressemble à celle de notre cuivre ordinaire, et il est très malléable.

« Il est curieux, » ajoute le Dr Davy, « d'examiner de quelle manière les cristaux se sont formés dans le casque, et sur le dépôt calcaire qui y adhère. Comme il n'y a aucune raison de supposer que le dépôt s'est produit par voie de solution, ne doit-on pas admettre que l'action minéralisante dépend d'un petit mouvement et de la séparation des particules du composé primitif? Ce mouvement, à son tour, ne pourrait-il pas résulter de l'action de forces électro-chimiques capables d'avoir séparé les différents métaux de l'alliage (*)? »

(*) Phil. Trans. 1826, part. II, p. 55.

Effets de l'affaissement du sol dans le phénomène de l'ensevelissement de villes et de forêts dans des strates sous-aqueuses.

Nous avons, jusqu'ici, considéré le transport des plantes et des animaux terrestres opéré par des causes *aqueuses*, et leur ensevelissement dans des dépôts lacustres ou sous-marins : maintenant il nous reste à examiner si l'affaissement de certaines parties du sol peut produire des effets analogues. Lorsque nous traiterons des changements occasionnés par les mouvements souterrains, nous citerons plusieurs exemples de l'affaissement de bâtiments et de portions de villes situées près du rivage, à diverses profondeurs au-dessous du niveau de la mer; mais quoique ces exemples ne se rapportent qu'à des événements limités à une période très courte des temps historiques, — aux cent cinquante dernières années qui viennent de s'écouler, — et à un nombre fort restreint des régions de volcans en activité, ils n'en attestent pas moins des changements considérables dans la géographie physique du globe; car on ne doit pas supposer que ces régions soient les seules, parmi les mers et les continents environnants, qui aient éprouvé de pareilles dépressions.

Si nous avions la preuve que pendant le court espace de temps qui s'est écoulé depuis que les

Européens ont fondé des colonies dans l'Amérique du Sud, des changements de niveau ont eu lieu dans les trois ports principaux des côtes occidentales de ce continent, à Callao, à Valparaiso et à la Conception (*), nous ne pourrions admettre que ces villes, si éloignées les unes des autres, aient été choisies précisément comme les points de cette partie du globe où la force destructive des tremblements de terre a le plus exercé sa fureur : « Ce serait une flèche habile, que celle qui saurait distinguer les braves des poltrons, » répondit le jeune Spartiate à qui l'on demandait si ceux de ses compagnons qui étaient tombés sur le champ de bataille étaient plus braves que lui et que ceux qui avaient été faits prisonniers avec lui ; eh bien ! de même un géologue n'attribuerait pas aux forces souterraines une faible dose de discernement et de malignité, s'il supposait qu'elles épargnent ordinairement une ligne de côtes de plusieurs milliers de milles de longueur, à l'exception du petit nombre de points où des villes populeuses ont été élevées. En considérant le peu d'étendue de l'espace occupé par les ports de mer qui, dans cette région tourmentée, sont les seuls points où les moindres changements du niveau relatif de la terre ferme et de la mer puissent être appréciés, et

(*) Voir vol. III, ch. VI et VIII.

Digitized by Google

en réfléchissant aux preuves que la science possède relativement aux révolutions locales que l'emplacement de chacun de ces ports a subies, depuis un siècle et demi, l'esprit reste frappé de la grandeur des changements que la région située entre les Andes et la mer peut avoir éprouvés, même dans le cours des soixante siècles derniers.

Tremblement de terre du Kotch. — La manière dont une étendue considérable de terrain doit avoir été submergée, pour que des animaux et des plantes terrestres soient ensevelis dans des strates sous-aqueuses, ne peut être mieux démontrée que par le tremblement de terre qui eut lieu au Kotch en 1819 (*). Il a été constaté que, pendant plusieurs années après ce tremblement de terre, les tamarisques et divers autres arbustes laissèrent voir le sommet flétri de leur tige au-dessus des vagues, en différents points de la lagune qui s'était formée par voie d'enfoncement, sur l'emplacement du village de Sindree et de ses environs, mais qu'après l'inondation de 1826, ils cessèrent d'être visibles. Tout géologue reconnaîtra, sans hésiter, que des forêts abaissées par de tels mouvements souterrains peuvent être ensevelies dans des dépôts sous-aqueux, soit fluvia-

(*) Vol. III, ch. VI.

Digitized by Google

tiles, soit marins, et qu'il est fort possible que les arbres s'y trouvent encore debout, ou que les racines et une partie des troncs conservent leur position première, quoique le courant puisse avoir brisé, ou rasé leur tige et leurs branches supérieures.

Mode de conservation des édifices submergés. — Quelques unes des constructions qui, à différentes époques, se sont affaissées au-dessous du niveau de la mer ont été immédiatement recouvertes dans certaines limites, de couches de matière volcanique qui se sont répandues sur elles : c'est ce qui a eu lieu, dans le courant de ce siècle, à Tomboro, dans l'île de Sumbava, et très probablement pendant le XIIe siècle, sur l'emplacement du temple de Sérapis, aux environs de Pouzzole. Le débordement d'une rivière du voisinage, chargée de sédiment, peut encore plus souvent déterminer l'enfouissement rapide de bâtiments dans des formations régulièrement stratifiées. Mais si aucune matière étrangère ne se trouve introduite, les bâtiments, quand une fois ils ont atteint une profondeur où l'action des vagues est insensible, et où il n'y a aucun courant considérable, peuvent se conserver pendant des temps indéfinis, et être aussi durables que le fond de l'Océan lui-même, qui souvent se compose de

Digitized by Google

matériaux semblables. On ne peut révoquer en doute l'exactitude de la tradition que mentionnent les auteurs classiques, savoir, que les villes grecques submergées de Bura et d'Hélice ont été vues sous les eaux. Différents témoins oculaires assurent aussi avoir observé les maisons de Port-Royal, au fond de la mer, 88, 101, et 143 ans après la secousse souterraine qui eut lieu en 1692 (*)

Arguments de Berkeley en faveur de la date récente de la création de l'homme. — Je ne puis terminer ce chapitre sans rappeler au souvenir du lecteur un passage remarquable écrit, il y a un siècle, par l'évêque Berkeley, où il déduit la date récente de la création de l'homme d'arguments qui ressortent réellement du domaine de la géologie. « Celui, » dit-il, « qui reconnaît qu'en creusant dans la terre, on trouve d'immenses quantités de coquilles, et même quelquefois des cornes et des ossements intacts et entiers d'animaux, quoique ayant très probablement séjourné plusieurs milliers d'années dans des couches terrestres, celui-là admettra sans peine que des canons, des médailles et différents objets en métal ou en pierre enfouis dans le sein de la terre, auraient pu s'y conserver entiers, pendant

(*) Vol. III, ch. VIII.

Digitized by Google

quarante ou cinquante mille ans, si le monde avait été assez ancien pour cela. Comment se fait-il donc que l'on ne trouve aucun objet d'antiquité appartenant aux siècles nombreux qui auraient précédé les temps dont parle l'Écriture ; que l'on ne découvre jamais, ni fragments de bâtiments, ni monuments publics, ni pierres gravées, camées, statues, bas-reliefs, médailles, inscriptions, ustensiles, ou ouvrages d'art d'aucune sorte, qui puissent témoigner de l'existence de ces puissants empires, de ces monarques, de ces héros et de ces demi-dieux qui se sont succédé pendant tant de milliers d'années? Jetons un coup d'œil en avant, et supposons une période à venir de dix ou vingt mille années, pendant laquelle des pestes, des guerres, des famines et des *tremblements de terre* exerceront leurs ravages sur le globe. Or, n'est-il pas extrêmement probable qu'à la fin de cette période, des colonnes, des vases et des statues de granit, de porphyre ou de jaspe, qui, à notre connaissance, ont déjà duré pendant plus de deux mille ans, à la surface du sol, sans éprouver aucune altération notable, rendraient témoignage de cette époque et des siècles passés? N'arriverait-il pas alors que quelques unes de nos monnaies courantes, ainsi que de vieux murs et les fondations de quelques bâtiments, seraient mis au jour, comme les coquilles et les roches

Digitized by Google

du *monde primitif* qui se sont conservées jusqu'à l'époque actuelle (*) ? »

De même que Berkeley, nous devons être bien convaincus que plusieurs indices des travaux des hommes auraient duré au moins aussi longtemps que « les coquilles du monde primitif, » si notre race eût été d'une ancienneté suffisante pour cela; et nous pouvons admettre, en toute assurance, que des édifices, ainsi que des objets dus à l'industrie, des squelettes d'hommes et des empreintes reproduisant les formes humaines existeront encore après qu'une grande partie des montagnes, des mers et des continents actuels auront disparu. En supposant la durée future de notre planète indéfiniment prolongée, on ne peut assigner aucune limite à la conservation de quelques uns des monuments humains dont l'enfouissement dans les entrailles de la terre, ou dans le lit de l'Océan, s'opère incessamment, à moins d'admettre dans l'avenir une période assez longue pour laisser aux diverses causes de changement, tant aqueuses qu'ignées, le temps de remodeler plusieurs fois l'écorce entière du globe. *Une seule* révolution complète serait insuffisante

(*) Alciphron, or the Minute Philosopher (Alciphron, ou le Petit Philosophe), vol. II, p. 84, 85. 1732.

Digitized by Google

pour effacer toute trace de notre existence ; car un grand nombre d'ouvrages d'art pourraient être successivement ensevelis dans les formations de diverses périodes, et échapper à la destruction, lors même que les roches dans lesquelles ils seraient restés enfouis pendant plusieurs siècles viendraient à être détruites : — circonstance que l'on peut comparer à ce qui a lieu lorsque des cailloux enfermés dans les conglomérats d'une certaine époque contiennent souvent les débris d'êtres qui vécurent à une époque antérieure.

Toutefois il n'en est pas moins vrai, ainsi que l'a dit un philosophe moderne, « qu'aucun des ouvrages d'un être mortel ne peut être éternel » (*). Ils sont d'abord arrachés des mains de l'homme, et perdus, quant à leur utilité pour lui, par le fait même des causes qui les empêchent de durer pendant des temps indéfinis. Et même, quand ils seraient enfermés dans des strates rocheuses, ou dans la charpente solide du globe lui-même, ils n'en finiraient pas moins par être détruits accidentellement ; car chaque année, quelque portion de l'écorce terrestre est brisée par des secousses souterraines, ou fondue par les feux volcaniques, ou réduite en poussière par les eaux qui circulent à la surface.

(*) Davy, Consolations in Travel, p. 276.

Digitized by Google

« Le fleuve du Léthé, » ainsi que Bacon le remarque si éloquemment, « coule aussi bien au-dessus de la terre qu'au-dessous (*). »

(*) Essay on the Vicissitude of Things (Essai sur les Vicissitudes des Choses).

Digitized by Google

CHAPITRE XIV.

ENFOUISSEMENT D'ESPÈCES AQUATIQUES DANS DES STRATES SOUS-AQUEUSES.

Enfouissement d'animaux et de plantes d'eau douce. — Marne coquillière. — Tiges de chara et enveloppes de la semence de cette plante à l'état fossile. — Dépôts récents dans les lacs de l'Amérique. — Espèces d'eau douce entraînées dans les mers et dans les estuaires. — Des plaines de Lewes. — De la manière dont se produisent les alternances de strates marines et de strates d'eau douce. — Enfouissement de plantes et d'animaux marins. — Cétacés échoués sur nos rivages. — De la facilité avec laquelle les testacés littoraux et ceux qui habitent les estuaires s nt entraînés au large. — Effets d'un orage dans le Golfe de Forth — Coquilles perforantes garanties de l'action ordinaire des vagues et des courants. — Testacés vivants trouvés à des profondeurs considérables. — Étendue de quelques dépôts coquilliers récents.

Après avoir traité de l'ensevelissement de plantes et d'animaux terrestres, ainsi que de celui de débris humains, dans des dépôts actuellement en voie de s'accumuler sous les eaux, nous allons examiner de quelle manière des espèces *aquatiques* peuvent

Digitized by Google

être enfouies dans les strates formées dans leur propre élément.

Plantes et animaux d'eau douce. — Les débris d'espèces appartenant à des genres d'animaux et de végétaux plus ou moins exclusivement limités à l'eau douce sont, pour la plupart, conservés dans les dépôts accumulés dans des lacs ou dans des estuaires; quelquefois, cependant, il leur arrive d'être entraînés par des rivières dans la mer, où ils sont mélangés avec les débris provenant d'espèces marines. Les phénomènes qui accompagnent leur enfouissement dans des strates lacustres se trouvent quelquefois révélés à l'observation par l'épuisement de petits lacs, comme ceux qui, en Écosse, ont été mis à sec afin d'obtenir de la marne coquillière pour les besoins de l'agriculture.

On observe quelquefois dans ces formations récentes, ainsi que le Forfarshire en offre plusieurs exemples, deux ou trois lits de marne calcaire séparés les uns des autres par des couches de tourbe transportée, de sable ou d'argile fissile. La marne, souvent, consiste presque entièrement en un agrégat de coquilles appartenant aux genres limnea, planorbis, valvata et cyclas, dont les espèces analogues se trouvent aujourd'hui à l'état vivant en Écosse. Un très grand nombre des testacés paraissent être morts

Digitized by Google

fort jeunes, et c'est à peine si quelques unes des coquilles indiquent, par leur grandeur, qu'elles parvinrent à leur entier développement. Elles sont quelquefois complétement décomposées, et forment alors une marne pulvérulente; d'autres fois elles se trouvent très bien conservées. Souvent aussi elles sont entremêlées de tiges de chara et d'autres végétaux aquatiques; le tout comprimé, et comme tressé, forme des feuillets quelquefois aussi minces que du papier.

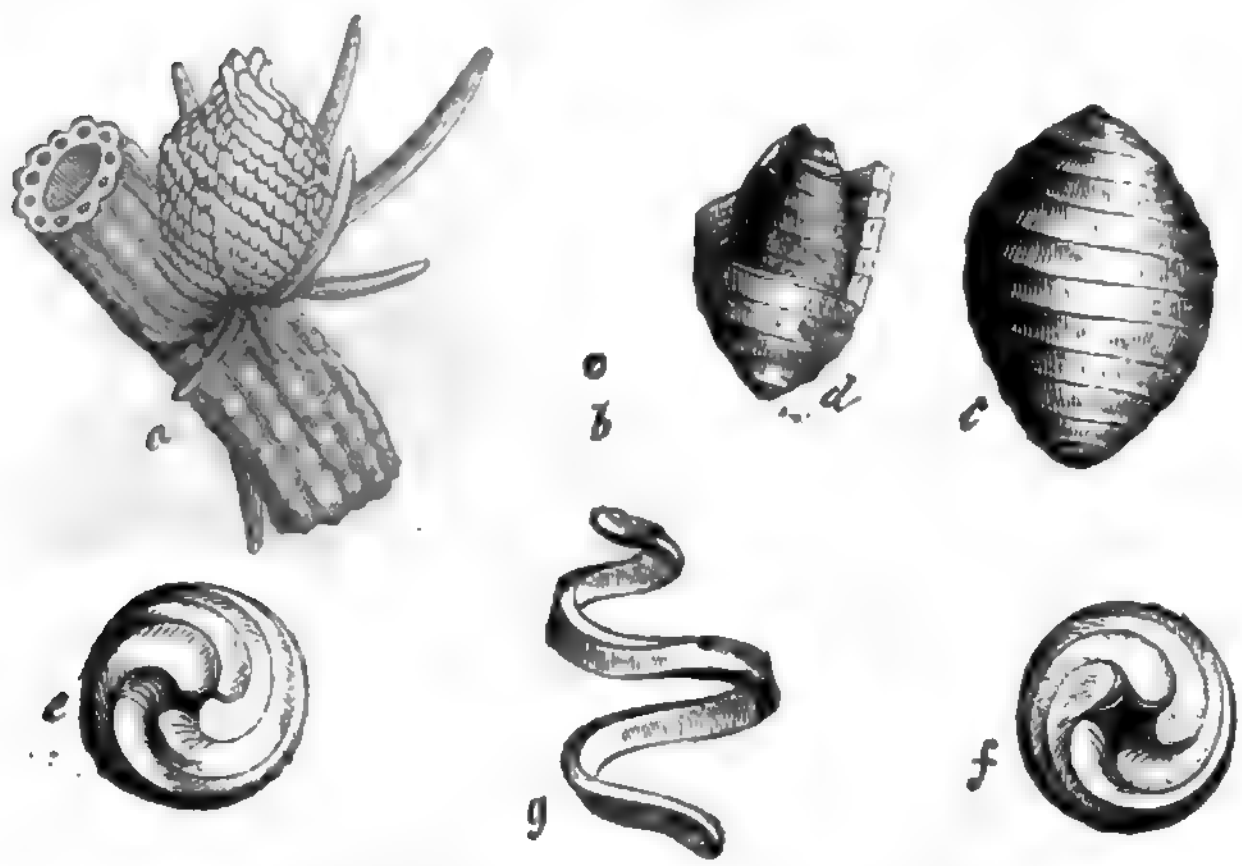
Tiges de chara et enveloppes de la semence de cette plante à l'état fossile. — Comme le chara est une plante aquatique qui se rencontre fréquemment dans des formations de différentes périodes, et qui est souvent d'un grand secours au géologue, en ce qu'elle sert à caractériser des groupes entiers de strates, je décrirai la manière dont j'ai trouvé les espèces récentes à l'état de pétrification. Elles se rencontrent dans un lac marneux du Forfarshire, renfermées dans des nodules, et quelquefois dans une strate continue formée d'une espèce de travertin.

L'enveloppe de la semence de ces plantes est extrêmement dure; elle consiste en une graine membraneuse couverte d'un tégument (*d*, fig. 32.), qui sont, tous deux, striés ou côtelés en spirale. Le tégument se compose de cinq valves contournées en spirale, de

Digitized by Google

forme quadrangulaire (*g*). Dans le *chara hispida*, qui abonde dans les lacs du Forfarshire, et qui est de-

Fig. 31.



Enveloppe de la semence du chara hispida.

a, Partie de la tige à laquelle adhère l'enveloppe de la graine. Grossie.

b, Grandeur naturelle de l'enveloppe de la graine.

c, Tégument de la gyrogonite, ou enveloppe pétrifiée de la graine du *chara hispida*, trouvée dans les lacs marneux d'Écosse. Grossie.

d, Coupe montrant la graine dans l'intérieur du tégument.

e, Extrémité inférieure du tégument à laquelle la tige était attachée.

f, Extrémité supérieure du tégument à laquelle les stigmates se trouvaient fixés.

g, Une des valves en spirale de *c*.

venu fossile dans le lac Bakie, chacune des valves en spirale de l'enveloppe de la semence en fait un peu

Digitized by Google

plus de deux fois le tour, le tout formant ensemble de dix à onze anneaux. Le nombre de ces anneaux varie beaucoup dans des espèces différentes ; mais, dans la même, il paraît être constant.

Les tiges de chara fossiles se rencontrent en grande abondance dans la marne d'Écosse. Dans quelques espèces, telles que le *chara hispida*, la plante, à l'état vivant, contient une si grande quantité de carbonate de chaux, indépendamment de toute incrustation calcaire, que, lorsqu'elle est sèche, elle fait fortement effervescence avec les acides. Les tiges du *chara hispida* sont striées longitudinalement, et ont une tendance à la forme spirale. Ces stries, ainsi que cela paraît avoir lieu pour tous les charas, tournent toujours de droite à gauche, comme le filet d'une vis, tandis que celles de l'enveloppe de la graine tournent dans une direction contraire. Une coupe transversale de la tige laisse apercevoir une structure extrêmement remarquable, cette tige consistant en un grand tube entouré de tubes plus petits (fig. 32, *b*, *c*), ainsi que plusieurs espèces récentes et éteintes en présentent l'exemple. Dans certaines espèces, les tiges ne renferment qu'un seul tube. (*)

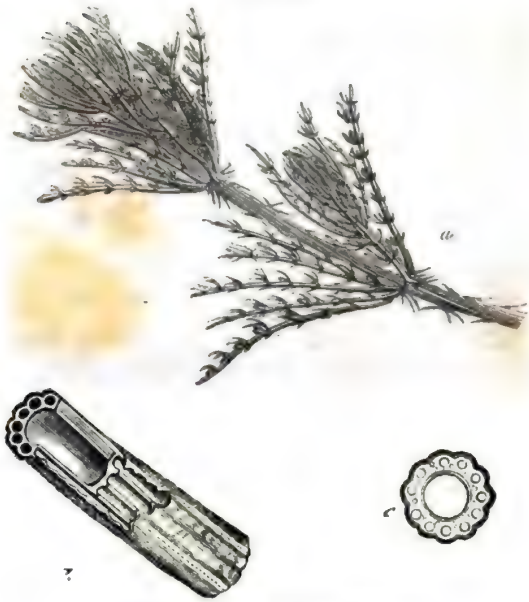
Les valves d'un petit mollusque que l'on nomme

(*) On Fresh-water Marl. (Sur la Marne d'eau douce, etc., par C. Lyell. Geol Trans., vol. II, sec. ser., p. 73.

Digitized by Google

cypris (*C. ornata?* Lam.) se rencontrent complétement fossilisées, comme les tiges du chara, dans le

Fig. 32.



Tige et branches du chara hispida.

a, Tige et branches de grandeur naturelle.
b, Coupe de la tige grossie.
c, Tube central entouré de deux rangs de tubes plus petits.

travertin d'Écosse dont nous avons déjà parlé. La même cypris habite les lacs et les étangs d'Angle-

Digitized by Google

terre, où elle se trouve en abondance avec plusieurs autres espèces. Quoique extrêmement petites, elles sont visibles à l'œil nu, et peuvent être observées en grand nombre, nageant très vivement dans les eaux stagnantes de nos étangs et de nos fossés. Les antennes, à l'extrémité desquelles est un faisceau de soies disposées en

Fig 33. *Fig.* 34.

Cypris unifasciata, espèce vivante extrêmement grossie.

Cypris vidua, espèce vivante extrêmement grossie (*).

a, Partie supérieure.
b, Profil.

pinceau, sont les principaux organes qui leur servent à nager; elles se meuvent avec une grande rapidité. L'animal est logé dans deux petites valves, assez semblables à celles d'une coquille bivalve, et change chaque année de téguments, ce qui

(*) Voyez les Crustacés de Desmarest, pl. 55.

Digitized by Google

n'a pas lieu pour les mollusques conchifères. Les coquilles abandonnées ressemblent à des écailles minces, et se trouvent par myriades dans un grand nombre de marnes anciennes d'eau douce ; elles impriment à ces marnes une structure feuilletée comme celle qui dérive fréquemment de la présence des lames de mica.

Dépôts récents dans les lacs de l'Amérique du Nord. — Les strates récentes d'origine lacustre dont il a déjà été question, sont d'une très petite étendue ; mais des dépôts analogues sont en voie de se former, sur une échelle immense, dans les grands lacs de l'Amérique du Nord. L'abaissement des eaux du lac Supérieur et du lac Huron, dû probablement à la destruction partielle des barrières de ces lacs, lors de quelque époque inconnue, a mis à découvert des lits de sable de cent cinquante pieds (46^{m}) d'épaisseur, au-dessous desquels on observe des couches d'argile renfermant des coquilles d'espèces analogues à celles qui habitent le lac aujourd'hui (*).

Aucune étude sérieuse ne paraît encore avoir été faite à l'égard des formations récentes d'eau douce qui se sont accumulées entre les tropiques, dans les eaux où la vie abonde ; on y pourrait trouver, dans

(*) Dr Bigsby, Journal of Science, etc., n° XXXVII, p. 262, 263.

Digitized by Google

le lit de quelque lac nouvellement desséché, des débris d'alligator, de crocodile, de tortue, et peut-être de quelque grand poisson.

Enfouissement d'espèces d'eau douce dans des dépôts d'estuaire et dans des dépôts marins.

Phénomènes de ce genre observés dans les plaines de Lewes. — Nous avons quelquefois occasion d'examiner les dépôts qui, depuis les temps historiques, ont comblé plusieurs de nos estuaires; d'un autre côté, les excavations pratiquées pour des puits et pour d'autres usages, en des points d'où la mer a fini par se retirer entièrement, nous mettent à portée d'observer les débris organiques qui s'y trouvent. La vallée de l'Ouze, entre Newhaven et Lewes, constitue un des estuaires que la mer a abandonnés dans l'espace des sept ou huit derniers siècles. Là, ainsi que les recherches de M. Mantell paraissent l'établir, des strates de trente pieds (9^m), et même plus d'épaisseur, se sont déposées. A la partie supérieure de ces couches se trouve immédiatement au-dessous de la terre végétale un lit de tourbe d'environ cinq pieds ($1^m,52$) de puissance, dans lequel on rencontre un grand nombre de troncs d'arbres. Vient ensuite une strate d'argile bleue contenant des coquilles d'eau douce, de neuf

espèces, analogues à celles qui habitent aujourd'hui la contrée, et parmi lesquelles on a trouvé un squelette de daim. La même argile renferme, dans sa partie inférieure, plusieurs espèces marines bien connues sur nos côtes. Dans les couches les plus basses, souvent à la profondeur de trente-six pieds (11m), ces testacés marins se rencontrent sans le moindre mélange d'espèces fluviatiles, et on a découvert parmi eux le crâne du narwal, ou licorne de mer (*monodon monoceros*). Au-dessous de tous ces dépôts, il se trouve un lit d'argile, ou terre de pipe, qui doit son origine à la craie sous-jacente (*).

Dans le cas où nous serions privés de documents historiques sur l'ancienne existence d'un passage par où la mer aurait pu pénétrer dans cette vallée, et sur la destruction graduelle de ce passage, l'examen de la coupe que nous venons de décrire indiquerait, d'une manière non moins certaine que pourrait le faire une chronique écrite, la série suivante d'événements. On reconnaîtrait d'abord que le point en question fut occupé par un estuaire d'eau salée, qu'habitèrent pendant un grand nombre d'années des testacés marins, appartenant à des espèces iden-

(*) Mantell, Geol. of Sussex, pag. 285; also Catalogue of Org. Rem., Geol. Trans. (Mantell, Géologie du Sussexhire; voir aussi le Catalogue des Débris Organiques), Trans. Géol. vol. III., part. I, p. 201. Seconde série.

Digitized by Google

tiques à celles qui vivent de nos jours, et dans lequel entraient parfois quelques uns des plus grands cétacés. En second lieu, le passage diminua de profondeur, et l'eau devint saumâtre, ou alternativement douce et salée ; de sorte que les débris de coquilles d'eau douce et d'eau marine se trouvèrent mélangés dans le sédiment argileux de couleur blanchâtre qui se déposait sur le fond. Troisièmement, la profondeur continua à décroître jusqu'à ce que la quantité d'eau de rivière l'emportât sur celle d'eau de mer ; l'estuaire alors cessa de servir de demeure aux testacés marins, et ne fut plus habité que par des espèces fluviatiles et des insectes aquatiques. Quatrièmement, il se forma ensuite un marais tourbeux dans lequel des arbres végétèrent, ou furent peut-être introduits lors de quelque inondation, et où des quadrupèdes terrestres se trouvèrent embourbés. Plus tard, enfin, le sol n'étant plus recouvert qu'à intervalles éloignés par les eaux douces, il fut transformé en une vaste prairie.

Enfouissement d'espèces d'eau douce dans le delta du Gange. — Il a déjà été établi que dans le delta du Gange il existe, sur le rivage de la mer, huit grandes ouvertures qui, suivant toute apparence, ont dû jadis servir successivement de canal principal de décharge à ce fleuve (*). Or, comme la

(*) Voyez p. 182 du présent volume.

base du delta a deux cents milles (72') de longueur, il doit en résulter que chaque fois que cette grande masse d'eau de rivière vient à se déverser par une nouvelle bouche, l'eau de la mer, en un certain point, de salée qu'elle était devient douce, et, en un autre, de douce devient salée; car, à l'exception des parties où a lieu l'écoulement principal, non seulement l'eau salée arrose la base du delta, mais elle pénètre encore très avant dans chacune des criques et des lagunes qui s'y trouvent. Il est donc évident que là peuvent se produire des alternances répétées de lits renfermant des coquilles d'eau douce, et de couches remplies de coraux ainsi que de débris marins; chacune de ces séries peut, en outre, être d'une grande épaisseur, la portion de la mer sur laquelle le delta empiète étant d'une profondeur considérable, et des intervalles de plusieurs siècles s'écoulant entre chacun des changements qui s'opèrent dans le cours de la branche principale.

Phénomènes semblables observés dans le delta de l'Indus. — Des phénomènes analogues doivent être quelquefois occasionnés par une élévation et une dépression alternatives du sol, telles que celles qui ont lieu dans le delta de l'Indus (*). Mais les mouvements souterrains n'affectent qu'un petit nombre des

(*) Voir vol. III, ch. VI.

Digitized by Google

deltas formés à une même époque, tandis que l'envasement de quelques uns des bras de certains grands fleuves, et la naissance de quelques autres, ainsi que le déplacement des points par où la plus grande partie de leurs eaux se déverse dans la mer, sont des phénomènes communs à presque tous les deltas.

Le nombre des espèces de testacés que contient la marne calcaire récente d'Écosse dont il a déjà été question, est extrêmement limité ; mais celui des individus qu'elle renferme est, au contraire, fort considérable— circonstance qui, en général, aide beaucoup à distinguer les formations d'eau douce des formations marines ; car dans ces dernières, ainsi qu'on le peut observer sur les rivages de la mer, sur les récifs de coraux, ou dans le fond des mers exploré à l'aide du dragage, partout où les coquilles, considérées individuellement, sont très nombreuses, il arrive rarement qu'on ne trouve pas une grande variété d'espèces.

Enfouissement des débris de plantes marines et d'animaux marins.

Plantes marines. — Lorsque les grands bancs de plantes marines transportées qui se rencontrent de chaque côté de l'équateur (*), dans l'Atlantique,

(*) Voir vol. IV, ch. V.

dans l'océan Pacifique, et dans la mer des Indes viennent à s'enfoncer, ils donnent souvent naissance à des couches considérables de matière végétale. En Hollande, la tourbe sous-marine doit son origine aux fucus, comme sur certaines parties de nos côtes, elle la doit à la *zostera marina*. Dans les lieux où les algues ne produisent point de tourbe, elles peuvent, néanmoins, étant en général d'une texture très rude, laisser l'empreinte de leur forme sur le limon argileux et calcaire.

Cétacés. — Il arrive assez souvent que de grands cétacés qui ne peuvent nager que dans des eaux très profondes, soient entraînés pendant des orages ou au moment des hautes marées, soit dans des estuaires, soit sur de bas rivages où ils échouent quand la marée se retire. C'est ainsi qu'en l'année 1806, un narwal (*monodon monoceros*) fut trouvé sur le rivage, près de Boston, dans le Lincolnshire; son corps était complétement enterré dans la vase. Un pêcheur en ayant aperçu la corne, essaya de la tirer à lui, et l'animal commença à remuer (*). En 1682, une baleine franche (*balæna mysticelus*), de soixante-dix pieds (21^{m},33) de longueur, échoua

(*) Fleming's Brit. Animals. (Des Animaux des Iles Britanniques, par Fleming, p. 37.) Plusieurs autres exemples analogues sont cités dans cet ouvrage.

Digitized by Google

près de Peterhead. Plusieurs baleinoptères ont subi le même sort : nous citerons entre autres ceux qui furent jetés sur le rivage, près de Burnt Island et à Alloa, et dont Sibbald, ainsi que Neill, a fait mention. L'autre individu cité par Sibbald, comme ayant échoué à Boyne, dans le Banffshire, était probablement un *Gibbar*. Ray parle d'un individu de grande taille, appartenant au genre catodon (*cachalot*), qui échoua en 1598, sur la côte occidentale de la Hollande, ainsi que le rappelle une très belle gravure hollandaise du temps. Sibbald, aussi, rapporte qu'une troupe de plus de cent cachalots furent trouvés échoués à Kairston, dans les Orcades. On voit quelquefois des cadavres de grands cétacés flotter à la surface des eaux : nous citerons à cette occasion l'énorme baleine que l'on exposa à Londres, à la curiosité publique, en 1831. Le squelette d'une vache marine, ou lamantin (*halicora*) fut, en 1785, jeté sur le rivage près de Leith.

C'est à quelque accident de ce genre que l'on peut attribuer la position dans laquelle on trouva près de Stirling, à Airthrey, sur le Forth, le squelette d'une baleine de soixante-treize pieds (22^{m},25) de longueur. Il était enfoui dans l'argile, à vingt pieds (6^{m}) au-dessus du niveau des plus hautes marées qui aient lieu aujourd'hui dans le Forth. D'après l'emplacement qu'occupait la station romaine, et les

Digitized by Google

chaussées qu'on observe à peu de distance de ce point, on a conclu que la baleine devait y avoir échoué à une époque antérieure à l'ère chrétienne (*).

On a aussi trouvé d'autres débris fossiles provenant d'animaux du même ordre, dans des estuaires dont le comblement a eu lieu à une époque moderne. Le voisinage de Lewes, dans le Sussexshire, en présente un exemple que nous avons déjà cité.

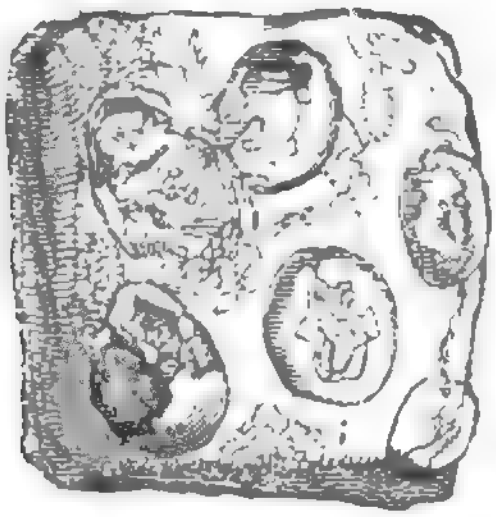
Reptiles marins. — Certains fossiles d'une nature singulière ont été récemment découverts dans l'île de l'Ascension. Ils étaient renfermés dans une roche dont la production s'opère incessamment, dit-on, sur le rivage, où les vagues déposent de petits fragments arrondis de coquilles et de coraux, qui, par la suite des temps, s'agglutinent fortement ensemble, et forment une pierre que l'on emploie pour les constructions, et pour faire de la chaux. Dans une carrière située au N.-O. de l'île, et à cent mètres environ de la mer, on a trouvé des œufs fossiles de tortue, dans une roche très dure ainsi formée. Les œufs devaient être presque prêts à éclore au moment où ils furent enfouis ; car on voit dans l'intérieur les os des jeunes tortues complétement développés. Les interstices qui sépa-

(*) Quart. Journ. of Lit. Sci., etc., n° XV, pag. 172, oct. 1819.

Digitized by Google

rent ces os sont entièrement remplis de grains de sable cimentés ensemble, de sorte que, lorsqu'on ôte la coquille des œufs, on trouve dans la pierre une empreinte parfaite de leur forme. Cet échantillon (*)

Fig. 35.



Œufs fossiles de tortue trouvés dans l'île de l'Ascension.

(fig. 35) qui n'a que cinq pouces (12,5) de long, dans son plus grand diamètre, renferme sept œufs (**).

(*) Cet échantillon a été présenté par M. Londsdale à la Société Géologique de Londres.

(**) Les os les plus distincts de ceux qu'on aperçoit dans la coquille fig. 36, paraissent être la clavicule et l'os coracoïde. Ils sont creux, et par cette raison ressemblent, à la première vue, plutôt à des os d'oiseaux qu'à des os de reptiles, ces derniers n'ayant point de cavité médullaire. M. Owen, du Collége des Chirurgiens, pour m'aider à éclaircir ce fait, a eu l'obligeance de disséquer une tortue très jeune. Il a trouvé que la partie extérieure seulement des os était solide, et que l'intérieur était encore rempli de cartilage. Ce cartilage se dessécha promptement, et fut bientôt réduit à la grosseur

Digitized by Google

Fig. 36.

Grosseur naturelle d'un des œufs représentés fig. 35, *et dans lequel on voit les os du fœtus qui était près d'éclore.*

Pour expliquer comment ces œufs se trouvent ainsi à l'état fossile, il semble nécessaire de supposer qu'au moment où ils étaient sur le point d'éclore dans le sable chaud, une grande vague les couvrit d'une telle quantité de sable, que les rayons du soleil ne purent plus les atteindre, ce qui, en occasionnant le refroidissement du germe, le priva de vie. Peut-être

d'un fil, par suite de l'évaporation de l'alcool dans lequel l'échantillon avait été conservé, de sorte qu'en peu de temps les os devinrent creux comme ceux des oiseaux.

Digitized by Google

qu'en même temps les coquilles furent légèrement brisées, et qu'alors de petits grains de sable purent s'y introduire peu à peu, à l'aide de l'eau, à mesure qu'elle pénétrait dans l'intérieur du rivage.

Testacés marins. — Les animaux et les plantes aquatiques qui vivent dans les estuaires sont exposés, comme les arbres et les animaux terrestres qui habitent les plaines alluviales d'un grand fleuve, à être entraînés de temps en temps en pleine mer; car, de même qu'une rivière change de cours perpétuellement, et mine une portion de ses bords ainsi que les forêts qui les couvrent, de même un courant marin change quelquefois de direction, et entraîne avec lui les bancs de sable et de limon contre lesquels il exerce son action. Or, comme il est assez probable que ces bancs consistent, en grande partie du moins, en coquilles particulières à des eaux basses, et quelquefois saumâtres, dont l'accumulation a pu se continuer pendant plusieurs siècles, jusqu'à ce qu'enfin elles aient été entraînées et répandues sur le fond de la mer, à une profondeur à laquelle elles n'auraient pu ni vivre ni se reproduire, il s'ensuit que les coquilles littorales et celles qui habitent les estuaires sont encore plus souvent exposées que les espèces d'eau douce, à se trouver mêlées à des débris provenant d'espèces pélagiques.

Digitized by Google

Lorsqu'après l'orage du 4 février 1831, plusieurs vaisseaux périrent dans l'estuaire du Forth, le courant se précipita si violemment vers un banc d'huîtres, qu'une énorme quantité de ces huîtres furent jetées *vivantes* sur le rivage, et restèrent au-dessus de la marque des hautes eaux. J'en recueillis plusieurs, ainsi que quelques buccins comestibles ordinaires qui avaient été lancés en même temps, et je remarquai que, bien qu'ils fussent encore vivants, leurs coquilles étaient usées, non par la simple action de la tempête qui avait occasionné leur brusque déplacement, mais par le frottement prolongé du sable qui avait passé sur eux lorsqu'ils étaient dans leur gîte natif.

On voit d'après ces faits que la non-séparation des deux parties d'une coquille bivalve ne prouve nullement qu'elle n'a point été transportée à une certaine distance, et que lorsqu'on trouve les coquilles usées, et toutes leurs parties saillantes effacées par le frottement, ce n'est point une raison pour qu'elles n'aient pas été enfouies au point même où elles vécurent.

Coquilles perforantes. — Lorsqu'on observe, d'une part, la violence de la houle sur nos côtes, et, de l'autre, la force avec laquelle les courants détruisent les falaises et creusent de nouveaux canaux, on s'étonne quelquefois que des coquilles

Digitized by Google

délicates et fragiles puissent habiter la mer dans le voisinage immédiat d'un pareil tumulte ; cela s'explique, toutefois, par la faculté que possèdent un grand nombre de bivalves et d'univalves turbinées de percer le sable ou la vase. Les solens et les bucardes, par exemple, que l'on trouve ordinairement dans les eaux basses près du rivage, peuvent facilement, sans que leurs coquilles en soient altérées, percer le fond de la mer, lorsqu'il n'est pas très dur ; et les pholades creusent quelquefois des cavités dans du limon d'une extrême dureté. Ces coquilles, et plusieurs autres encore, peuvent, quand elles redoutent quelque danger, s'enfoncer dans les couches sous-marines avec une grande rapidité, souvent même jusqu'à la profondeur de plusieurs pieds, et revenir à la surface, lorsqu'une masse de matière s'est accumulée au-dessus d'elles. La tempête exercera donc vainement sa furie, elle pourra même entraîner la partie supérieure des bancs de sable et de limon, ou couvrir ces bancs de cailloux, sans que les testacés qui se trouvent au-dessous en ressentent la plus légère atteinte.

Fossilisation de coquilles à des profondeurs considérables. — Nous avons déjà vu qu'à la profondeur de 950 brasses, entre Gibraltar et Ceuta, le capitaine Smith a trouvé un fond couvert de gravier, et par-

Digitized by Google

semé de coquilles brisées, qui, suivant toute apparence, y ont été amenées des parties, comparativement basses, du détroit voisin, dans lequel coule un courant puissant. Là, des lits de sable coquillier de plusieurs milliers de pieds d'épaisseur pourraient s'amonceler dans le cours des siècles. Mais des coquilles peuvent, sans l'aide de la force de transport d'un courant, s'accumuler, à de grandes profondeurs, dans les lieux où elles vivent et où elles meurent, si des sédiments se déposent sur elles; car, même dans nos froides latitudes, les profondeurs où abondent certains animaux marins vivants, sont très considérables. Le capitaine Vidal a constaté, par des sondages exécutés à la hauteur de l'île Tory, sur la côte N.-O. de l'Irlande, que des crustacés, des étoiles de mer et des testacés se rencontraient à diverses profondeurs, entre 50 et 100 brasses; et il ramena des dentales du limon de la baie de Galway, d'une profondeur de 230 à 240 brasses.

Le même hydrographe a découvert, sur le banc de Rockall, de grandes quantités de coquilles, à différentes profondeurs, entre 45 et 190 brasses. Ces coquilles étaient pulvérisées pour la plupart, quoique, pourtant, elles fussent récentes, ainsi qu'il était facile d'en juger, d'après l'éclat de leurs couleurs. On a observé, dans la même région, un lit

Digitized by Google

d'os de poissons qui recouvre le fond de la mer sur une étendue de deux milles ($\frac{2}{3}$ de lieue), à 80 et 90 brasses de profondeur. A l'extrémité orientale du banc de Rockall, on a trouvé aussi, à la profondeur de 235 brasses, des os de poissons mélangés avec des fragments de coquilles récentes.

Des formations analogues sont en voie de se produire sur tous les points de l'espace sous-marin compris entre les îles Shetland et le nord de l'Irlande, où des sondages ont pu être pratiqués. Un dépôt continu de sable et de limon, rempli de coquilles brisées et entières, d'échinites, etc., a été suivi sur plus de vingt milles (7' env.) à l'est des îles Fœroë, à une profondeur variant généralement entre 40 et 100 brasses. Il existe, en un certain point de cet espace (lat. 61° 50', long. 6° 30'), une si grande quantité d'os de poissons, que l'on ne peut remonter la sonde sans qu'elle ramène quelque vertèbre. Cette « couche à ossements » — nom sous lequel nos ingénieurs la désignent, — a trois milles et demi (un peu plus d'une lieue) de longueur, et se trouve à 45 brasses au-dessous de la surface. Quelques coquilles y sont mêlées aux os de poissons.

Dans les mers Britanniques, les coquilles et autres débris organiques se rencontrent dans la vase molle, ou dans le sable et le gravier non agglutinés; dans le lit de l'Adriatique, Donati les a souvent trouvés

Digitized by Google

enfermés dans des roches solides d'origine récente. Or, telle est précisément la différence caractéristique que l'on pouvait s'attendre à reconnaître entre les dépôts britanniques marins actuellement en voie de se former, et ceux de l'Adriatique; car les sources calcaires et d'autres sources minérales abondent dans la Méditerranée et dans les terres voisines, tandis qu'il y a absence presque complète de ces mêmes sources dans les Iles Britanniques.

Lors de la reconnaissance que fit le capitaine Belcher de la côte occidentale d'Afrique, il trouva, à l'aide d'un grand nombre de sondages exécutés entre les 23e et 20e degrés de latitude nord, que le lit de la mer, à la profondeur de 50 brasses environ, consiste en sable mélangé d'une grande quantité de coquilles souvent entières, mais quelquefois brisées et réduites en fragments très petits. Sur la même côte, entre les 11e et 9e parallèles de latitude nord, la sonde, descendue à diverses profondeurs, depuis 20 brasses jusqu'à 80 environ, ramena une multitude de coraux et une grande quantité de coquilles qui, mêlées de sable, étaient en partie entières et en partie usées et brisées.

Dans ces divers cas, le moindre dépôt de sédiment, celui, par exemple, que pourraient produire des rivières arrosant un continent, ou des courants qui mineraient une ligne de falaises, suffirait pour

que des formations stratifiées, de plusieurs centaines de pieds d'épaisseur, et remplies de débris organiques, pussent s'accumuler dans le cours des siècles.

Mais bien que dans le voisinage de certaines côtes, quelques dépôts puissent ainsi s'étendre sans interruption sur un millier de milles, ou même plus encore, il est extrêmement probable que la majeure partie du lit de l'Océan, celle qui est éloignée des continents et des îles, ne peut recevoir aucune addition nouvelle de matière transportée, tout le sédiment se trouvant arrêté par les cavités intermédiaires. En géologie, certaines théories erronées résultent, non seulement du peu de compte que l'on tient quelquefois de la grande étendue des dépôts simultanés actuellement en voie de se produire, mais aussi de la supposition que de telles formations peuvent être universelles, ou occuper autant d'espace que le lit de l'Océan.

Digitized by Google

CHAPITRE XV.

FORMATION DES RÉCIFS DE POLYPIERS.

Développement des polypiers presque entièrement limité aux régions tropicales. — Des principaux genres de zoophytes qui bâtissent des récifs. — De la proportion dans laquelle s'opère leur croissance. — Ils se développent rarement à plus de vingt brasses de profondeur. — Atolls ou récifs annulaires avec lagunes. — Iles Maldives. — Origine de la forme circulaire des atolls. — Les récifs de polypiers ne reposent pas sur des cratères volcaniques submergés. — Théorie de l'affaissement des polypiers, proposée par M. Darwin pour servir d'explication aux récifs annulaires ou atolls. — Cette théorie peut s'appliquer également aux récifs-barrières qui forment enceinte. — Cause pour laquelle le côté au vent, dans les atolls, est le plus élevé. — La théorie de l'affaissement explique pourquoi tous les atolls sont presque au même niveau. — Aires alternantes d'élévation et d'affaissement. — Forme et épaisseur probables qu'ont sous l'eau les polypiers suivant que le mouvement a été ascendant ou descendant, continu dans la même direction ou oscillatoire, lent ou rapide, uniforme ou intermittent. — Origine des passages qu'on observe dans les lagunes. — Grandeur des atolls et des récifs-barrières. — Stratification. — Origine de la chaux. — Controverse élevée au sujet de l'augmentation supposée de la matière calcaire dans les temps modernes. — Dernières remarques et conclusions.

La faculté que possèdent les êtres organisés de modifier la forme et la structure de l'écorce terrestre se manifeste de la manière la plus sensible dans

Digitized by Google

le travail dû aux zoophytes. Ce travail, dans l'Océan, peut se comparer aux effets produits sur la terre ferme, mais dans des proportions plus petites, par les plantes qui concourent à la formation de la tourbe. Dans le Sphagnum, la partie supérieure végète, tandis que la portion inférieure pénètre dans une masse minérale, où des traces d'organisation se retrouvent encore après que la vie a entièrement cessé. De même, dans les polypiers, les parties les plus durables d'une génération éteinte servent de fondations à un autre édifice semblable que les animaux vivants continuent à ériger.

La partie pierreuse du zoophyte lamelliforme peut être comparée à l'intérieur d'un squelette; car elle est toujours plus ou moins entourée d'une substance animale molle et extensible; cependant, lorsque l'animal est effrayé, il a la faculté de se contracter, et de se retirer presque entièrement dans les cellules et les cavités de son enveloppe minérale. Quoique, dans leur élément naturel, ces animaux présentent ordinairement les plus belles couleurs, leurs parties molles n'ont d'autre aspect, lorsqu'on les retire de la mer, que celui d'une substance visqueuse noirâtre, répandue sur le noyau pierreux (*).

(*) Ehrenberg, Nat. und Bild. der Coralleninseln, etc.; Berlin, 1834.

Digitized by Google

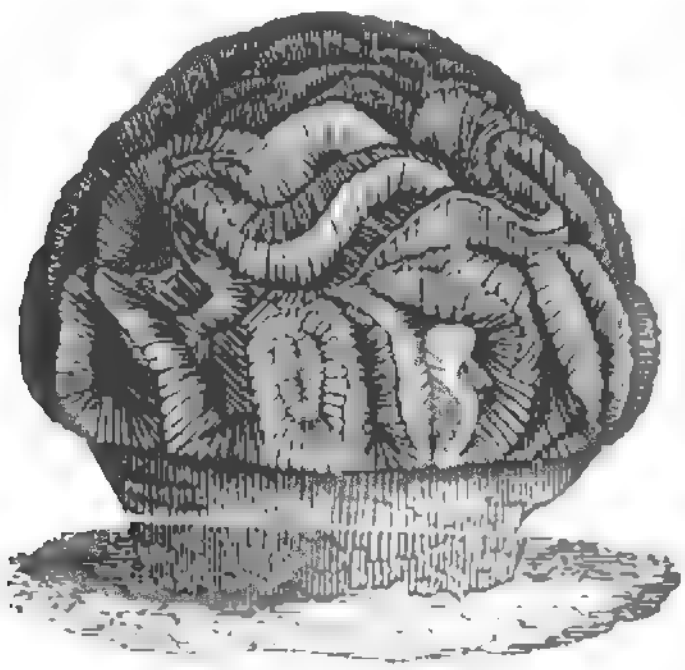
Le développement des polypiers qui forment des récifs pierreux est exclusivement limité aux régions chaudes du globe ; rarement on en trouve à plus de 2 ou 3 degrés au-delà des tropiques, excepté toutefois dans quelques localités particulières, comme aux îles Bermudes, par 32° de lat. nord, où l'Atlantique est échauffé par le Gulf Stream. L'Océan Pacifique renferme, sur l'espace compris entre les trentièmes parallèles de latitude de chaque côté de l'équateur, une quantité prodigieuse de coraux ; on en trouve beaucoup aussi dans les golfes Arabique et Persique, ainsi que dans cette partie de la mer des Indes qui s'étend entre la côte du Malabar et l'île de Madagascar. Flinders décrit un récif de polypiers situé sur la côte orientale de la Nouvelle-Hollande comme ayant une longueur de près de mille milles (362'), et comme ne présentant aucune solution de continuité sur une étendue de trois cent cinquante milles (127'). Quelques uns des groupes d'îles de coraux de la Mer Pacifique ont de onze à douze cents milles (398 ou 434') de longueur, sur trois ou quatre cents milles (109 à 145') de large ; tels sont, entre autres, l'Archipel Dangereux, et celui auquel Kotzebue a donné le nom de Radack ; mais les îles qui constituent ces groupes ne forment que des points peu étendus, et souvent très clair-semés.

Parmi les nombreuses espèces de zoophytes qui

concourent à la production des bancs de polypiers, quelques unes des plus communes appartiennent aux genres astrée, porite, madrépore, millépore, caryophyllie et méandrine, établis par Lamarck.

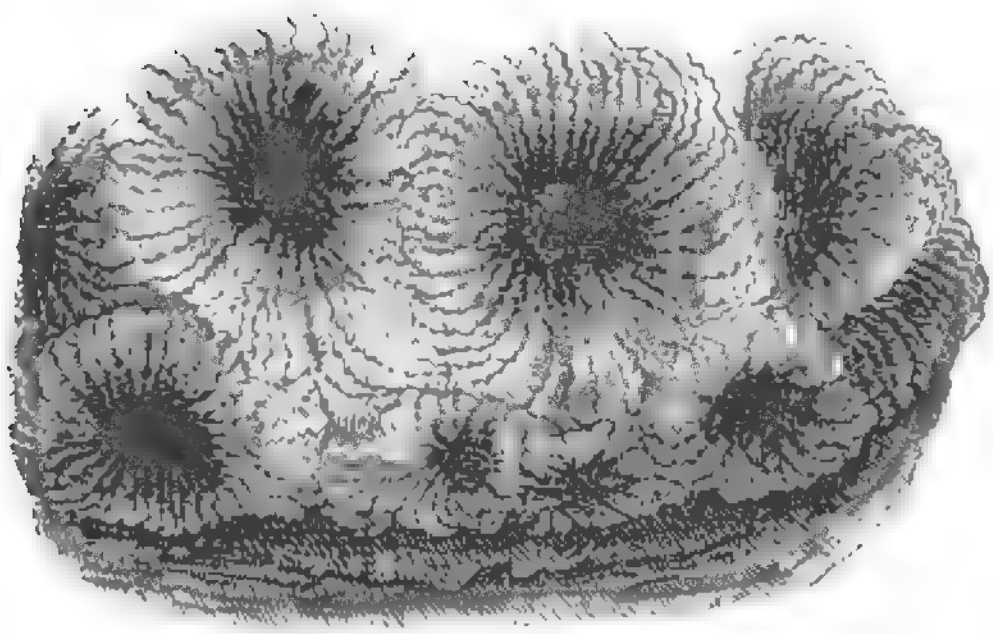
Genres de zoophytes très communs dans les récifs de corail.

Fig. 37.



Meandrina labyrinthica, Lam.

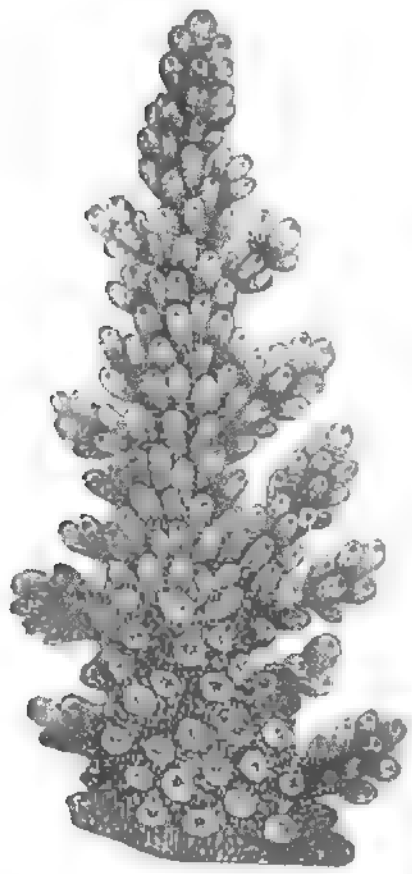
Fig. 38.



Astrea dipsacea, Lam.

Digitized by Google

Fig. 39.

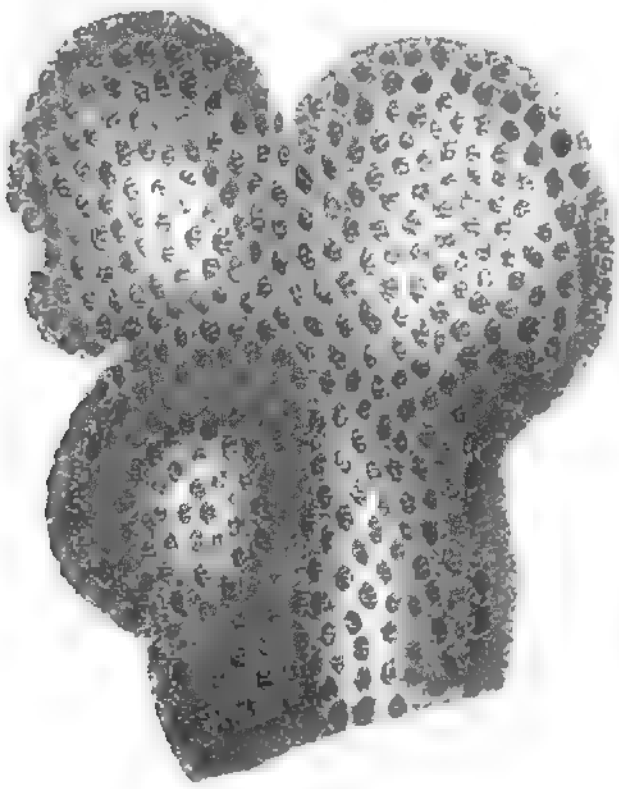


Extrémité d'une branche de Madrepora muricata, Lin.

Fig. 40.

Caryophyllia fastigiata, Lam.

Fig. 41.



Porites clavaria, Lam.

Fig. 42.

Oculina hirtella, Lam.

De la proportion dans laquelle s'opère la croissance des polypiers. — Des opinions très différentes ont été émises à l'égard de la proportion dans laquelle s'accroissent les récifs de polypiers. Lors de la dernière expédition du capitaine Beechey dans l'Océan Pacifique, on ne put recueillir aucune preuve positive que tel ou tel canal ait été rempli dans une période donnée ; et il semble établi que plusieurs récifs sont restés, pendant plus d'un demi-siècle, à peu près à la même distance de la surface.

Ehrenberg aussi met en doute la question du comblement de certains canaux et de certains ports de la Mer Rouge par suite de l'accroissement rapide du calcaire corallien. Il attribue l'opinion émise dans

ce sens, à ce que plusieurs ports ont accidentellement été comblés, en quelques points, avec du sable madréporique, et en d'autres, avec de grandes quantités de lest provenant de roches corallifères, et abandonné par des vaisseaux au chargement desquels il avait servi

Les habitants des Bermudes montrent certains polypiers actuellement en voie de croître dans la mer, et qui, suivant la tradition, ont vécu sur les mêmes points pendant plusieurs siècles. On prétend que quelques uns d'entre eux peuvent rivaliser, sous le rapport de l'âge, avec les plus vieux arbres de l'Europe. Ehrenberg a observé aussi des polypiers isolés de six à neuf pieds ($1^m,83$ ou $2^m,74$) de diamètre, appartenant aux genres méandrine et favie, ayant une forme globulaire, et « qui, dit-il, doivent être d'une ancienneté prodigieuse, c'est-à-dire, avoir probablement plusieurs milliers d'années, de sorte que Pharaon put voir les mêmes masses d'individus dans la Mer Rouge (*). » L'ancienneté de ces polypiers implique nécessairement, comme le remarque Ehrenberg, que l'accroissement du récif sur lequel ils se sont développés a dû être excessivement lent. Sur plus de cent espèces que cet observateur a recueillies, il n'en a trouvé aucune qui fût couverte de

(*) Ehrenberg, ouvrage déjà cité, p. 515.

zoophytes parasites. Il n'a pas rencontré non plus un seul exemple de corail vivant se développant sur un autre corail vivant. C'est à cette action répulsive, que les polypiers d'un même genre exercent les uns contre les autres, pendant qu'ils sont vivants, que l'on doit l'admirable symétrie que présentent quelques unes des grandes méandrines, et plusieurs autres espèces qui font l'ornement de nos musées. Cependant, des balanes et des serpules peuvent s'attacher à des coraux vivants, de même que des mollusques saxicaves peuvent y percer des trous. D'un autre côté, une huître que l'on voit au musée de l'Institution de Bristol, et qui n'avait pas plus de deux ans lorsqu'elle fut prise, est enveloppée dans un corail dur, appartenant à l'espèce agaricie, et pesant 2 liv. 9 onc. (1 kil. 161) (*). A Taaopoto, île de l'Océan Pacifique Méridional, on a trouvé, à sept brasses de profondeur, l'ancre d'un vaisseau naufragé depuis cinquante ans environ, qui avait conservé sa forme primitive, mais qui était entièrement incrustée de corail (**).

Ce fait semble impliquer une extrême lenteur dans l'accroissement des polypiers; toutefois il doit être fort difficile de se faire une idée exacte du taux moyen de cet accroissement, puisqu'il doit varier, non seulement suivant les espèces de coraux, mais

(*) Stutchbury, West of England Journal (Journal de l'Angleterre Occidentale, N° 1, p. 51.)

(**) Id., p. 49.

Digitized by Google

aussi suivant les diverses circonstances dans lesquelles chaque espèce peut se trouver placée, comme la profondeur au-dessous de la surface, la quantité de lumière, la température de l'eau, le manque de sable ou de limon, et enfin l'absence ou la présence de brisants, qui sont favorables au développement de quelques espèces et nuisibles à celui de certaines autres.

On pourrait observer aussi que l'état, en apparence stationnaire, de quelques récifs de polypiers, qui, suivant Beechey, sont restés pendant des siècles à la même profondeur sous l'eau, peut être attribué à un phénomène d'affaissement, l'accroissement du corail à la partie supérieure du récif ayant compensé exactement l'abaissement de la base sur laquelle les zoophytes ont élevé leurs constructions. Nous verrons plus loin jusqu'à quel point cette hypothèse se trouve appuyée par d'autres preuves dans les régions de récifs annulaires ou atolls.

On ne doit pas supposer que les masses calcaires, désignées sous le nom de récifs de polypiers, sont exclusivement l'ouvrage des zoophytes : un grand nombre de coquilles, dont quelques unes appartiennent aux plus grandes et aux plus pesantes des espèces connues, contribuent à augmenter ces masses. Dans la partie méridionale de l'Océan Pacifique, de grands bancs d'huîtres, de moules, de *pinnæ marinæ*, de

Digitized by Google

chamæ (ou *tridacnæ*), et de divers autres coquillages, recouvrent presque tous les récifs; et, sur les rivages des îles de coraux, on voit des têts d'échinites et des fragments brisés de crustacés. On distingue aussi, à travers les eaux bleuâtres et transparentes de la mer, des multitudes de poissons dont les dents et les palais ne peuvent guère, en raison de leur dureté, manquer de se conserver, malgré la décomposition à laquelle sont exposés leurs ossements tendres et cartilagineux.

En 1780, le naturaliste allemand Forster, après le voyage qu'il fit autour du monde avec le capitaine Cook, émit l'opinion que les coraux avaient la faculté d'élever, du fond de mers très profondes, des murs escarpés et presque perpendiculaires. Cette notion fut adoptée ensuite par le capitaine Flinders et par plusieurs autres; mais aujourd'hui, il est admis, généralement, que ces zoophytes ne peuvent vivre à de grandes profondeurs.

M. Darwin pense que les espèces qui concourent le plus à la formation des récifs prospèrent rarement à une profondeur supérieure à vingt brasses, ou cent vingt pieds (près de 37^{m}); et M. Ehrenberg, après avoir consacré plus d'une année à l'examen des coraux de la Mer Rouge, croit qu'ils ne se développent pas, dans cette mer, au-delà

Digitized by Google

de huit brasses de profondeur (*); on y trouve pourtant plusieurs espèces de zoophytes, dont quelques unes sont pourvues de tiges calcaires ou cornées, et vivent dans des eaux dont la profondeur atteint quelquefois jusqu'à 180 brasses. MM. Quoy et Gaimard s'étaient certainement trompés, en pensant que les espèces qui contribuent le plus activement à la formation de masses solides, ne croissent pas dans l'eau au-delà d'une profondeur de 4 ou 5 brasses. On a supposé que les madrépores branchus, qui vivent à de plus grandes profondeurs que tous les autres, pouvaient former les premières fondations d'un récif, et élever une plate-forme sur laquelle d'autres espèces érigeaient ensuite leurs constructions (**); mais il n'y a jusqu'à présent aucun exemple de récifs qui se soient ainsi accumulés.

Les récifs de coraux affectent toute espèce de formes; les plus remarquables et les plus nombreux dans la Mer Pacifique, consistent en bandes de terre sèche, circulaires ou ovales, entourant un lac ou une lagune d'eau dormante peu profonde, où abondent des zoophytes et des mollusques. Ces récifs annulaires dépassent à peine le niveau de la mer, et sont environnés d'eaux, dont, en beaucoup de points, on n'a pu encore atteindre la profondeur.

(*) Ehrenberg, Nat. und Bild. der Coralleninseln, etc.; Berlin, 1834.

(**) Journ. of Roy. Geograph. Soc. 1831, p. 218.

Digitized by Google

La coupe ci-jointe (*fig.* 43) représente une de ces îles circulaires, s'élevant un peu au-dessus des va-

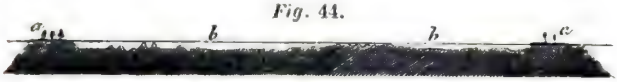
Fig. 43.

Vue de l'île de Whitsunday. (Cap. Beechey.) (*).

gues; elle est couverte de cocotiers et de divers autres arbres, et renferme une lagune d'eau tranquille.

La figure suivante peut donner une idée de la forme ordinaire de ces îles.

Fig. 44.



Coupe d'une île de corail.

a, *a*, Partie habitable de l'île, consistant en une bande de corail, qui entoure la lagune.

b, *b*, La lagune.

La figure 45 représente une petite partie de la

(*) Voyage to the Pacific, etc., 1825-28.

Digitized by Google

section d'une île de corail sur une plus grande échelle.

Fig. 45.

Coupe d'une partie d'une île de corail.

a, *b*, Partie habitable de l'île.
b, *c*, Pente du côté de l'île, inclinée de quarante-cinq degrés sur une profondeur de quinze cents pieds (457^{m}).
c, *c*, Portion de la lagune.
d, *d*, Parties saillantes composées de coraux, et formant des masses surplombantes qui ressemblent à des chapiteaux de colonnes.

Sur les trente-deux îles de corail visitées par Beechey, dans son voyage à la Mer Pacifique, vingt-neuf avaient des lagunes dans leur centre. Le diamètre de la plus grande égalait trente milles (près de 11 l.); celui de la plus petite n'atteignait pas un mille. Les dimensions de chacune de ces îles allaient en agmentant par suite de la rapidité avec laquelle s'effectuait le travail des lithophytes, qui semblaient étendre de plus en plus, et amener à la surface, les parties immergées de leurs constructions. L'aspect que présentent ces récifs annulaires est aussi remarquable par sa singularité que par sa beauté. Qu'on

Digitized by Google

se figure une bande de terre de quelques centaines de mètres de large, couverte de cocotiers très élevés, au-dessus desquels s'étend la voûte azurée du ciel. Cette bande de verdure est limitée par un banc de sable blanc, de l'éclat le plus vif; le bord extérieur est entouré d'un anneau de brisants dont la blancheur peut être comparée à celle de la neige, et au-delà desquels on aperçoit les eaux noirâtres et oscillantes de l'Océan. Le banc intérieur entoure l'eau claire et tranquille de la lagune qui, bien qu'elle repose en très grande partie sur un sable blanc, paraît d'un vert très vif lorsqu'elle est éclairée verticalement par les rayons du soleil (*). Certaines espèces de zoophytes abondent surtout dans la lagune; d'autres, au contraire, sont plus nombreuses dans le bord extérieur, où se fait sentir un fort clapotement, que partout ailleurs. « Quand l'Océan, » dit M. Darwin, « lance ses vagues sur ces rivages extérieurs, on dirait d'un ennemi invincible. Cependant on le voit dompté par des obstacles en apparence très faibles. Jamais il n'est en repos, et les grosses houles, dues à l'action constante des vents alizés, existent toujours : le tourbillonnement de l'eau sur les brisants est bien plus considérable dans ces îles que dans nos régions

(*) Darwin's Journal, etc., p. 510.

Digitized by Google

tempérées, et l'on ne peut les observer sans être convaincu que des roches, même de granit ou de quartz, finiraient par céder à des forces aussi irrésistibles, et par être démolies. Eh bien! malgré cela, ces petites îles de coraux, si basses, si insignifiantes, résistent, grâce à l'intervention d'une autre force, en quelque sorte opposée à la première, et qui prend part à la lutte. Les forces organiques détachent, un à un, des brisants écumants, les atomes de carbonate de chaux, pour les réunir ensuite sous une forme symétrique; des myriades d'architectes sont nuit et jour à l'ouvrage, et l'on voit leurs corps gélatineux et mous dompter, à l'aide des lois de la vitalité, la puissance mécanique des vagues contre lesquelles ni l'industrie de l'homme, ni la partie inanimée de la nature ne pourraient lutter avec succès (*). »

Comme les animaux producteurs du corail sont obligés d'être continuellement immergés dans l'eau salée, ils ne peuvent s'élever par leurs propres forces au-dessus du niveau des plus basses marées. La transformation des récifs en îles dont le niveau dépasse celui de la mer, est ainsi décrite par Chamisso, naturaliste qui accompagna Kotzebue dans ses voyages : — « Quand le récif, » dit-il, « est d'une hauteur telle qu'il se trouve presque à sec au moment de la basse mer, les coraux abandonnent

(*) Darwin's Journal, etc., p. 547, 548.

Digitized by Google

leurs travaux. Au-dessus de cette ligne, on observe une masse pierreuse continue, composée de coquilles de mollusques et d'échinites avec leurs pointes brisées, et des fragments de coraux, cimentés par un sable calcaire provenant de la pulvérisation des coquilles. Il arrive souvent que la chaleur du soleil pénètre cette masse quand elle est sèche, et occasionne des fentes en plusieurs endroits; alors les vagues ont assez de force pour diviser des blocs de coraux qui ont jusqu'à six pieds (1m 83) de long, sur trois ou quatre (91c et 1m 22) d'épaisseur, et pour les lancer sur les récifs, ce qui finit par en élever tellement la crête, que la haute mer ne la recouvre qu'à certains moments de l'année. Le sable calcaire n'éprouve ensuite aucun autre dérangement, et offre aux graines d'arbres et de plantes que les vagues y amènent, un sol sur lequel ces végétaux croissent assez rapidement pour ombrager bientôt sa surface éblouissante de blancheur. Les troncs d'arbres entiers qui sont transportés par les rivières, d'autres pays et d'autres îles, y trouvent enfin un point d'arrêt après leur longue course. Quelques petits animaux, tels que des insectes et des lézards, sont transportés avec eux, et deviennent, d'ordinaire, les premiers habitants de ces récifs. Même avant que les arbres soient assez touffus pour former un bois, les oiseaux de mer y construi-

sent leurs nids; les oiseaux de terre égarés viennent y chercher un refuge dans les buissons; et, plus tard enfin, lorsque le travail des polypiers est depuis longtemps achevé, l'homme paraît et bâtit sa hutte sur le sol devenu fertile (*). »

Dans la description qui précède, la masse pierreuse est indiquée comme consistant en coquilles et en coraux cimentés par du sable; mais on trouve aussi, même dans les parties les plus élevées et les plus récentes du récif, des masses de calcaire extrêmement compacte, qui ne peuvent avoir été produites que par une précipitation chimique.

Il se pourrait que, dans ces exemples, le carbonate de chaux provînt de la décomposition de coraux et de testacés; car, lorsque la matière animale est en putréfaction, la matière calcaire doit être mise en liberté dans des circonstances très favorables à sa précipitation, surtout quand il se rencontre quelques autres substances calcaires, telles que des coquilles et des coraux, sur lesquelles elle peut se déposer. Des corps organiques peuvent donc ainsi se trouver renfermés dans un ciment solide, et faire partie de masses pierreuses (**).

La largeur de la bande circulaire de coraux morts

(*) Kotzebue's Voyages (Voyages de Kotzebue), 1815-1818, vol. III, p. 331-333.

(**) Stuchbury, West of Eng. Journ., N° 1, p. 50.

Digitized by Google

formant les îles explorées par le Capitaine Beechey, n'excédait en aucune place un demi-mille ($\frac{1}{6}$ de l.), depuis la zone que la mer baigne ordinairement jusqu'au bord de la lagune, et n'était, en général, que de trois ou quatre cents mètres (*). La profondeur des lagunes est variable : dans quelques unes de celles où le Capitaine Beechey a pénétré, elle était de 20 à 38 brasses.

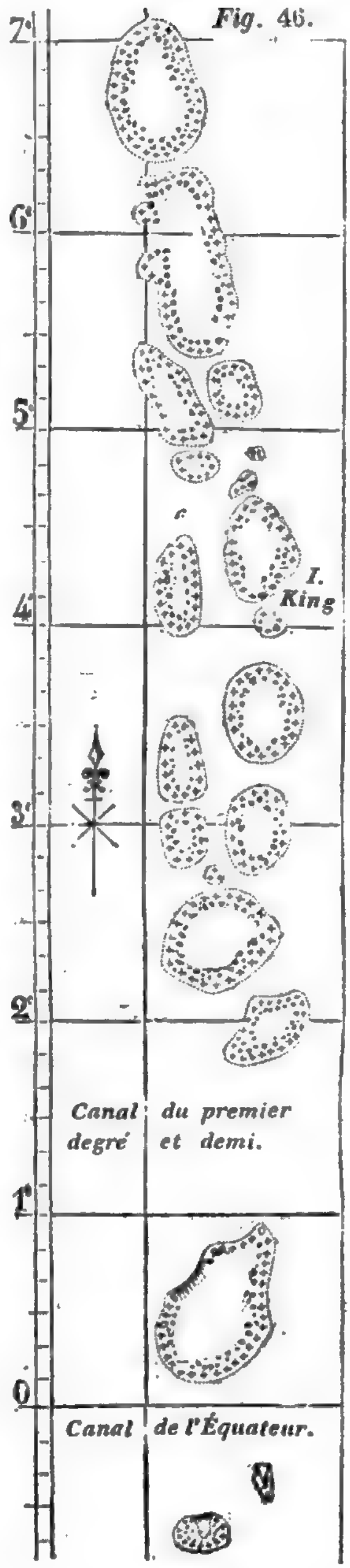
Les deux autres circonstances qui caractérisent le plus ordinairement les récifs annulaires ou atolls, consistent : 1° en ce que la bande de coraux morts est toujours plus haute du côté du vent dominant; 2° en ce que, généralement, il se trouve dans le récif une ouverture formant un passage étroit, dont la profondeur est quelquefois très considérable, et qui sert de communication entre la mer et la lagune.

Iles Maldives et Laquedives. — La chaîne de récifs et d'îles désignée sous le nom des Maldives (voyez fig. 46), et située dans l'Océan Indien, au sud-ouest du Malabar, s'étend, du nord au sud, sur une longueur de 480 milles géographiques. Elle se compose d'une série de groupes circulaires d'îles entièrement formées de corail, et les plus considérables de ces groupes ont de quarante à quatre-vingt-dix milles dans leur plus grand diamètre. Le Capitaine Horsburgh, à qui l'on est redevable de la

*) Cap. Beechey, part. I., p. 188.

Digitized by Google

carte ci-jointe de ces îles, a constaté qu'en dehors de chaque cercle ou atoll, il y a des récifs de coraux qui s'étendent, parfois, jusqu'à la distance de deux ou trois milles ($\frac{2}{3}$ de l. ou 1') au-delà desquels on n'atteint pas le fond de la mer, même à d'immenses profondeurs. Mais au centre de chaque atoll, il existe une lagune de quinze à quarante brasses de profondeur. Le Capitaine Horsburgh n'a pu toucher le fond, à cent cinquante brasses, dans les canaux qui séparent les atolls; mais dans la reconnaissance faite par le Capitaine Moresby, on l'a trouvé, en quelques points, à deux cents brasses. Chaque atoll forme un anneau d'îles, et non un récif continu; un seul de ces anneaux se compose quelquefois de plus de cent îles, dont la



longueur varie entre un demi-mille ($\frac{1}{6}$ de l.) et deux milles ($\frac{2}{3}$ de l.). Elles consistent en une roche sablonneuse formée de coquilles et de coraux brisés, comme on les trouve sur le rivage, non agglutinés, mais cette roche durcit quand elle est exposée à l'air pendant quelques jours. Elle se compose quelquefois d'un agrégat de coquilles brisées, de coraux, de fragments de bois et de coques de noix de coco (*).

Les Laquedives s'étendent au nord, et les Chagos, au sud, sur la même ligne que les Maldives ; de sorte que ces divers groupes peuvent être considérés comme une seule et même chaîne de montagnes sous-marines, couronnées, de la même manière, par des calcaires coralliens.

Origine non volcanique de la forme circulaire des atolls. — La forme circulaire et ovale d'un si grand nombre de récifs, ayant chacun une lagune dans le centre, et entourés de toutes parts d'une mer profonde, donne naturellement lieu de supposer que les atolls ne sont autre chose que des cratères volcaniques sous-marins, surmontés de polypiers ; théorie que j'ai moi-même soutenue dans les anciennes éditions de cet ouvrage. Quoique mon but, aujourd'hui, soit de prouver que cette opinion doit

(*) Capt. Moresby on the Maldivas, Journ. Roy. Geog. Soc. (Description des Maldives, par le Capit. Moresby. (Journal de la Société Royale de Géographie), vol. V, part. II, p. 400.

Digitized by Google

être abandonnée, je ne laisserai pas cependant d'indiquer les motifs qui la firent adopter autrefois. D'abord, on avait remarqué qu'il existait un grand nombre de volcans en activité dans cette région de l'Océan Pacifique qui abonde en récifs de coraux, et qu'en quelques points, tels que le groupe de Gambier, des rochers composés de laves poreuses s'élèvent dans une lagune bordée par un récif circulaire, exactement comme les deux cônes d'éruption, nommés les Kamenis, se sont élevés depuis les temps historiques dans le golfe circulaire de Santorin (*). On avait observé aussi que, de même que dans le Nouveau-Shetland ou Shetland du Sud, dans l'île Barren, et dans d'autres îles d'origine volcanique, les parois du cône extérieur présentent une brèche étroite par laquelle les vaisseaux peuvent entrer dans un golfe circulaire, de même il se trouve souvent ici un seul passage profond qui conduit dans la lagune d'une île de corail. Cette lagune elle-même semble représenter la cavité ou le gouffre d'un cratère volcanique, exactement comme l'anneau de corail émergé paraît en remplacer le bord.

Un autre argument dont je faisais usage lorsqu'autrefois je soutenais cette doctrine, m'avait été suggéré par l'assertion d'Ehrenberg, savoir, que

(*) Voyez vol. III, ch. V du présent ouvrage.

Digitized by Google

quelques uns des bancs de coraux de la Mer Rouge étaient carrés, tandis que beaucoup d'autres, aplatis à leur sommet, et sans lagune, présentaient une forme analogue à de petites bandes ou à des rubans. Or, puisque tous les genres, et un grand nombre des espèces de zoophytes observés dans la Mer Rouge sont analogues à ceux qui construisent ailleurs des îles à lagune, il s'ensuit que les zoophytes producteurs de masses pierreuses ne sont pas guidés par leur propre instinct dans la formation des récifs annulaires, mais que cette forme particulière, et la position de ces récifs dans le milieu d'une mer profonde, doivent dépendre de la configuration du fond sous-marin, puisque, dans la Nature, rien autre que le cratère d'un grand cône volcanique submergé ne présente cette forme. Il est vrai que l'énorme grandeur de quelques atolls me mettait dans la nécessité d'attribuer aux cratères de plusieurs volcans sous-marins des dimensions tellement considérables, que souvent elles ont donné lieu à une objection sérieuse contre l'application de la théorie volcanique.

Explication de la forme circulaire des atolls par la théorie de l'affaissement. — M. Darwin, après avoir examiné un grand nombre de formations madréporiques en différentes parties du globe, crut ne pas pouvoir admettre que leur

Digitized by Google

forme fût la reproduction de celle du fond sur lequel elles s'appuyaient. Au lieu d'admettre que la bande de coraux morts reposait sur une crête de rocher circulaire ou ovale, ou que la lagune correspondait à une cavité préexistante, il proposa une opinion nouvelle qui, au premier abord, doit paraître paradoxale,—c'est que la lagune se trouve précisément à la place qu'occupait jadis la crête d'un haut-fond, ou la partie la plus élevée d'une île montagneuse. Les pages suivantes renferment un exposé succinct des faits et des arguments qui viennent à l'appui de cette nouvelle théorie.

Outre ces anneaux de corail dépassant le niveau des eaux et renfermant des lagunes, il y en a d'autres dont la forme et la structure sont semblables, mais qui entourent des îles élevées. Parmi ces dernières on remarque Vanikoro, célèbre par le naufrage de La Peyrouse; le récif de coraux s'étend à la distance de deux ou trois milles ($\frac{2}{3}$ de l. ou 1 l.) du rivage, et la profondeur du canal qu'on observe entre l'île et le récif est généralement de deux et trois cents pieds (61 et 91^{m}). Ce canal, comme on voit, peut être comparé à une lagune, mais à cette différence près, qu'il renferme une île dans son centre, où celle-ci se trouve placée comme un tableau dans son cadre. De même, Otaïti offre l'aspect d'une terre montagneuse entourée de toutes

Digitized by Google

parts d'un lac, ou d'une zone d'eau salée tranquille séparée de l'Océan par un récif de coraux formant enceinte, où la mer brise et écume sans cesse. La Nouvelle-Calédonie, cette île longue et étroite, formée de rochers granitiques, et située à l'est de la Nouvelle-Hollande, est aussi entourée d'un récif qui s'étend sur une longueur de quatre cents milles (145 l.). Ce récif environne non seulement l'île elle-même, mais il borde encore une chaîne de rochers qui se prolonge sous la mer dans la même direction. Personne ne contestera donc pour le moment, que dans ce cas les coraux ont pour base le bord d'un cratère volcanique, dont le milieu est occupé par une montagne ou une île de granit.

Le grand « récif-barrière » qui a été déjà signalé comme suivant parallèlement la côte nord-est de l'Australie sur une longueur de près de mille milles (362 l.), offre encore un exemple remarquable de la grande étendue sur laquelle, parfois, ces bandes de coraux longent parallèlement un rivage. La distance de ce récif à la terre ferme varie entre vingt et soixante-dix milles (7 et 25 l.), et la profondeur du grand bras de mer qu'il entoure, est ordinairement de dix à vingt brasses, excepté vers une de ses extrémités, où elle atteint quarante à soixante brasses.

Digitized by Google

Jusqu'à présent nous n'avons considéré que deux classes de récifs : les atolls et les récifs-barrières qui forment enceinte. Ceux-ci s'accordent parfaitement, à l'égard de la structure, avec les premiers ; la seule différence qu'on observe entre eux, c'est l'absence de toute terre dans les atolls, tandis que les autres renferment toujours une île ou un continent entouré d'une barrière. Mais il y a encore une troisième classe de récifs auxquels M. Darwin a donné le nom de *fringing reefs*, « récifs qui forment bordure. » Ils sont plus rapprochés des continents ou des îles que les récifs-barrières qui forment enceinte, à tel point que l'espace intermédiaire entre eux et la côte ne peut être considéré comme une lagune. « Ce qui fait que ces récifs ne touchent pas tout-à-fait au rivage, semble tenir à deux causes : d'abord, à ce que le clapotement, en troublant l'eau qui se trouve dans le voisinage immédiat du rivage, la rend nuisible à tous les zoophytes; puis, à ce que les grandes espèces ne prospèrent que sur le bord extérieur, là où les vagues d'une mer ouverte viennent se briser (*). »

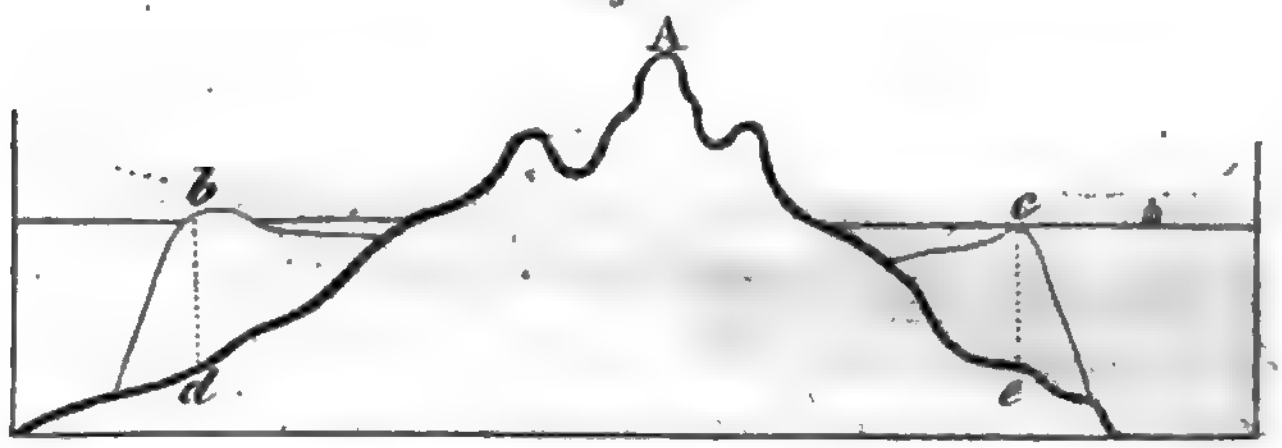
On conviendra aussi qu'il y a tant d'analogie entre la forme et la position de la bande de coraux qu'on observe dans les atolls, et celles des récifs-barrières qui forment enceinte, que toute explica-

(*) Darwin's Journal, p. 557.

Digitized by Google

tion qui ne se rapporterait point à l'ensemble de ces récifs ne pourrait être considérée comme satisfaisante. Si, examinant d'abord les récifs-barrières formant enceinte, nous tâchons d'expliquer comment les zoophytes ont pu trouver un fond propre à servir de base à leurs constructions, aussitôt une grande difficulté se présente. Il est un fait général qui, depuis longtemps, a été remarqué par Dampier, — c'est qu'une terre élevée et une mer profonde se trouvent ordinairement près l'une de l'autre; en d'autres termes, les montagnes escarpées qui descendent d'une manière abrupte jusqu'au rivage de la mer, conservent, en général, une pente non moins rapide sous l'eau. Mais lorsque le

Fig. 47.



Coupe supposée d'une île à récif de coraux formant enceinte.

A, L'île.

b c, points culminants du récif formant enceinte. Entre ces points et la côte il existe un espace occupé par de l'eau dormante.

récif se trouve, comme en *b* et en *c* (*fig.* 47), éloigné de plusieurs milles d'une côte escarpée, une

Digitized by Google

ligne abaissée perpendiculairement, à partir des deux points extérieurs *b c* jusqu'à la roche primordiale *d e*, servant de base au récif, doit descendre à une profondeur excédant de plusieurs milliers de pieds les limites au-delà desquelles les polypes producteurs de masses pierreuses ne peuvent vivre, puisque, ainsi que nous l'avons déjà vu, ils cessent de se développer dans les eaux dont la profondeur surpasse cent vingt pieds (près de 37^{m}). Ce n'est pas seulement la remarque de Dampier qui a donné lieu de supposer que la roche originaire, immédiatement au-dessous des points *b* et *c*, se trouve actuellement aussi loin de la surface que *d* et *e*; le fait a été confirmé par des sondages exécutés immédiatement en dehors du récif, où la sonde n'a rencontré le fond qu'à d'énormes profondeurs, et où même, en quelques points, elle ne l'a pas touché. En un mot, la mer est aussi profonde en cet endroit qu'on pouvait le supposer dans le voisinage d'une côte escarpée; et c'est évidemment à la seule accumulation des coraux que doit être attribuée l'anomalie que présente le peu de profondeur de l'eau qui recouvre le récif, et qui se trouve entre celui-ci et la terre ferme.

Pour expliquer les phénomènes qui viennent d'être décrits, M. Darwin suppose que les polypiers solides commencent leurs constructions dans l'eau,

Digitized by Google

à une profondeur moyenne, et que, tandis qu'ils exécutent leur travail, le lit de la mer s'affaisse graduellement, de sorte que la base de leur édifice s'enfonce à mesure qu'ils en élèvent le sommet. Si donc la marche de cet affaissement n'est pas trop rapide, les polypes continueront à accroître leur construction jusqu'à la surface, la masse gagnant toujours en hauteur, relativement à sa base primitive, tout en conservant, à d'autres égards, la même position. Il n'en est point ainsi de la terre ferme : chaque pouce perdu l'est irremédiablement. A mesure que cette dernière s'affaisse, l'eau gagne pied à pied sur le rivage, jusqu'à ce que, ainsi que cela arrive souvent, le pic le plus élevé de l'île primitive disparaisse entièrement. Ce qui, dans le principe, était terre ferme, se trouve alors occupé par la lagune ; quant à la bande de corail qui forme ceinture, elle n'éprouve aucune altération, si ce n'est quelque légère contraction dans ses dimensions.

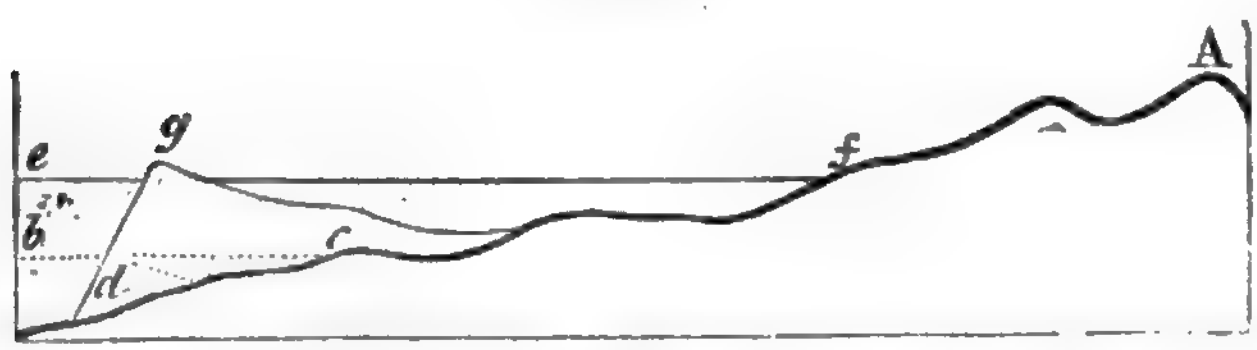
Tel est, suivant M. Darwin, le mode de production des atolls et des récifs formant enceinte. A l'appui de sa théorie, il a signalé plusieurs exemples qui montrent les divers états intermédiaires de ces récifs, à partir de celui où ils forment des îles très élevées et entourées de coraux, telles qu'Otaïti, jusqu'à celui du groupe de Gambier, où quelques pics seulement s'élèvent du fond d'une lagune ; et

Digitized by Google

enfin, celui où l'atoll, devenu parfait, renferme une lagune de plusieurs centaines de pieds de profondeur, entourée d'un récif escarpé qui s'élance d'une mer sans fond.

Or, si l'on adopte ces idées, il est évident que dans les régions où des polypiers se développent, un pareil affaissement doit donner naissance à des récifs-barrières le long des rivages d'un continent.

Fig. 48.



Supposons que A (*fig.* 48), représente la partie N.-E. de l'Australie, et *b c* l'ancien niveau de la mer, au moment où le récif de coraux *d* a été formé. Si le continent s'enfonce de manière à être de plus en plus submergé, la mer finira par se trouver au niveau *e f*, et le récif, qui en même temps aura pris de l'accroissement, atteindra le point *g*. La distance entre le rivage *f* et le récif-barrière *g* est beaucoup plus grande aujourd'hui que celle qui existait originairement entre le rivage *c* et le récif *d*, et plus l'enfoncement augmentera, plus le rivage reculera.

Lorsque la première édition de cet ouvrage parut,

en 1831, c'est-à-dire, plusieurs années avant que M. Darwin se fût livré à la recherche des faits sur lesquels sa théorie repose, j'avais émis l'opinion que le fond de la Mer Pacifique s'affaisse dans les parties où se trouvent un grand nombre d'atolls, mais sans penser, néanmoins, que si cet affaissement était constaté, il expliquerait à la fois la forme des récifs annulaires et celle des récifs-barrières.

Je citerai le passage dans lequel est exprimée cette opinion, tel que je l'ai publié en 1831 : — « C'est une circonstance bien digne de remarque que l'existence, dans l'Océan Pacifique, de ce vaste espace, parsemé de petites îles, où l'on ne rencontre aucune étendue de terre ferme plus considérable que celle qui forme les îles Otaïti et Owhyhi, et quelques autres qui ont été jadis, ou sont encore aujourd'hui, des foyers de volcans en activité. Il suffirait que l'équilibre fût maintenu entre les forces de soulèvement et d'affaissement des tremblements de terre, pour que de grandes îles se trouvassent bientôt formées dans l'Océan Pacifique; car, dans ce cas, l'accroissement des matières calcaires, l'écoulement de la lave et l'éjection des cendres volcaniques, se combineraient avec la force soulevante pour donner naissance à une nouvelle terre.

« Supposons qu'un haut-fond, de six cents milles (plus de 200 l.) de longueur, s'enfonce de quinze

Digitized by Google

pieds (4m 58); puis, qu'il reste immobile pendant mille ans; durant cet intervalle, le récif de corail en voie de se former pourra encore atteindre la surface; si, ensuite, le haut-fond vient à s'élever de nouveau de quinze pieds, de sorte que le récif primitif se retrouve dans son ancienne position, la partie nouvelle du polypier, celle que l'on suppose s'être formée depuis le premier abaissement, constituera une île de six cents milles de long. Un résultat analogue aurait lieu si un courant de lave de quinze pieds d'épaisseur se répandait sur le récif submergé. L'absence de plus vastes étendues de terre ferme dans la Mer Pacifique, semble donc prouver que la somme de l'abaissement produit par les tremblements de terre, excède aujourd'hui, dans cette partie du globe, l'élévation due à la même cause (*). »

J'ai indiqué aussi, de la manière suivante, dans toutes les anciennes éditions de cet ouvrage, une autre preuve du phénomène de l'affaissement, déduite de la structure des atolls. « Les basses îles de coraux de la Mer Pacifique, » dit le Capitaine Beechey, « semblent avoir suivi, dans leur formation, une règle générale; la partie la plus élevée et la mieux fermée se trouvant presque toujours du

(*) Voyez la 1re édition des « Principles of Geology » vol. II, p. 296.

Digitized by Google

côté d'où vient le vent dominant. La différence qu'on observe entre les deux côtés de ces îles, est surtout très remarquable aux îles Gambier et Matilda; le côté du vent est boisé, et même habité dans les premières, tandis que le côté opposé est à vingt ou trente pieds (6 à 9^{m}) sous l'eau, ce qui, toutefois, n'empêche pas d'en distinguer la forme *étroite* et bien dessinée. C'est aussi du côté opposé au vent que se trouvent les passages qui communiquent avec les lagunes; et, bien que quelquefois ils puissent être situés dans des points peu éloignés de ceux qui sont exactement au vent, comme à Bow-Island, jamais ces derniers points n'offrent de tels passages. » Ces observations du Capitaine Beechey s'accordent avec celles que le Capitaine Horsburgh, et divers autres hydrographes, ont faites à l'égard des îles de coraux de plusieurs autres mers. La situation favorable de ces passages permet aux vaisseaux d'entrer dans la lagune et de naviguer avec facilité; tandis que s'ils se trouvaient du côté d'où vient le vent, les vaisseaux, une fois entrés, resteraient des mois entiers sans pouvoir sortir. La sûreté bien connue de plusieurs de ces ports dépend entièrement de cette heureuse particularité qui les caractérise.

« De quelle manière une conformation aussi singulière doit-elle être expliquée? L'action des vagues est évidemment la cause de l'exces d'élévation qu'on

Digitized by Google

observe dans quelques récifs, du côté d'où vient le vent, c'est-à-dire, à l'endroit où des masses de sable et de coraux se trouvent accumulées par les vagues; mais il est une foule de cas où cette cause seule est insuffisante pour résoudre le problème; car les récifs submergés à des profondeurs considérables, où les mouvements de la mer sont très peu sensibles, ont néanmoins la même conformation : le côté opposé au vent est beaucoup plus bas que celui d'où vient le vent (*).

» Le Capitaine King, en examinant les récifs désignés sous le nom de Rowley Shoals, et situés à la hauteur de la côte N.-O. de l'Australie, où les moussons E. et O. dominent alternativement, a remarqué que le côté ouvert d'un récif en forme de croissant, appelé l'Impérieuse, était tourné vers l'est; et que le même côté d'un autre récif, désigné sous le nom de Mermaid, faisait face à l'ouest; un troisième, enfin, de forme ovale, et appartenant au même groupe, était entièrement submergé. Or, cette dissemblance entre des récifs voisins les uns des autres, est précisément ce qui doit avoir lieu dans les endroits où les vents changent périodiquement de direction.

Il semble impossible d'attribuer le phénomène qui nous occupe en ce moment, à une uniformité primi-

(*) Voyage to the Pacific, etc., p. 189.

Digitized by Google

tive dans la configuration des volcans sous-marins, sur les sommets desquels on peut supposer qu'il se produit des récifs de coraux ; car, bien que souvent les cratères ne soient démolis que d'un côté, il serait fort difficile de concevoir une cause capable de les briser tous dans la même direction. Mais la difficulté s'aplanira peut-être, si l'on considère un autre effet de l'action volcanique, — je veux dire le phénomène de l'affaissement produit par les tremblements de terre. Supposons que la barrière située du côté d'où vient le vent ait été élevée, par l'action mécanique des vagues, à la hauteur de deux ou trois mètres au-dessus de celle qui se trouve du côté opposé, puis, que l'île s'enfonce de quelques brasses ; le récif submergé présentera alors l'ensemble des phénomènes qui ont été décrits. La répétition de semblables actions, due à l'élévation et à la dépression alternatives de la même masse (hypothèse strictement conforme à l'analogie), produirait, entre les deux côtés du récif, une différence d'autant plus grande encore, qu'il y a tout lieu de croire que la violence du flot de la marée tend fortement à empêcher l'accumulation des coraux les plus délicats sur le côté du récif opposé au vent, tandis que l'action des brisants contribue à élever la barrière située du côté d'où vient le vent (*). »

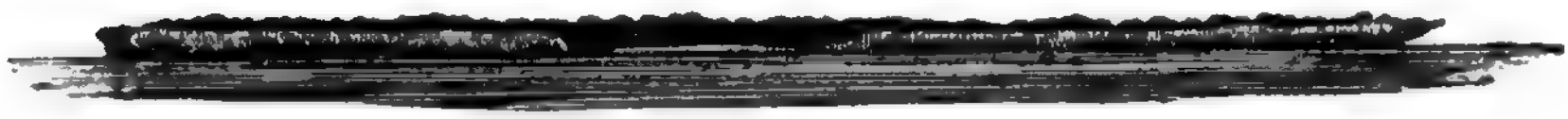
(*) Voyez la première édition des « Principles of Geology » vol. II, p. 293.

Digitized by Google

Avant que j'eusse fait connaître mes idées sur les indices qui viennent d'être énumérés d'un mouvement de haut en bas dans le lit de l'Océan, le Dr Macculloch, le Capitaine Beechey, et plusieurs autres auteurs avaient constaté que des masses de coraux récents ont été mises à sec, à diverses hauteurs au-dessus du niveau de la mer, dans les Indes Orientales et Occidentales, dans les îles de la Mer Pacifique, et dans la Mer Rouge. Après avoir décrit trente-deux îles de corail situées dans la Mer Pacifique, le Capitaine Beechey ajoute qu'elles étaient toutes formées de polypiers vivants, à l'exception d'une seule qui, bien qu'elle fût aussi madréporique, se trouvait élevée d'environ soixante-dix à quatre-vingts pieds (21 à 24m) au-dessus du niveau de la mer, et était entourée d'un récif de coraux vivants. Elle se nomme l'île Élisabeth ou d'Henderson, et a cinq milles (1 l. $\frac{2}{3}$) de long sur un ($\frac{1}{3}$ de l.) de large. Sa surface est unie, et de tous côtés, excepté vers le nord, elle est bornée par des falaises perpendiculaires d'environ cinquante pieds (15m,24) de hauteur, composées entièrement de coraux morts, plus ou moins poreux, percés de trous à la surface, comme un rayon de miel, et formant, en se durcissant, une masse calcaire compacte, qui se casse à la manière du calcaire secondaire, et renferme une espèce

de millépore qui s'y trouve disséminée. Ces falaises sont sapées par l'action des vagues ; la partie supérieure de quelques unes d'entre elles semble même être à la veille de se précipiter dans la mer. Celles

Fig. 49.



Ile Élisabeth, ou d'Henderson.

qui sont le moins endommagées par cette cause ne présentent ni étages successifs, ni aucune indication des niveaux différents que la mer peut avoir occupés à diverses périodes; leur surface est unie, comme si l'île, qui probablement a été élevée par l'action volcanique, devait son soulèvement à une grande convulsion souterraine (*). A la distance de quelques centaines de mètres de l'île, la sonde, descendue à deux cents brasses, n'a point rencontré le fond.

On verra, d'après l'esquisse ci-jointe, qui m'a été communiquée par le Lieutenant Smith, du Blossom, que les arbres descendaient jusqu'au rivage vers le centre de l'île, où se trouve une brèche ressemblant, à la première vue, aux passages qui d'ordinaire conduisent dans les lagunes; mais les

(*) Beechey's Voyage to the Pacific, etc., p. 46.

arbres sont sur une pente escarpée, et l'on n'aperçoit aucune cavité qui indique une ancienne lagune. Beechey remarque aussi que la surface de l'île d'Henderson est plate, et que dans celle de la Reine Charlotte, qui appartient au même groupe et est sous-marine, il n'y a point de lagune. Nous examinerons plus tard la cause probable de l'oblitération de la lagune ou bassin central.

Deux circonstances, dit M. Darwin, suffisent pour motiver la supposition que le lit de la Mer Pacifique et de l'Océan Indien, où se trouvent un grand nombre d'atolls, doit s'être affaissé pendant plusieurs siècles. La première consiste en ce que les zoophytes qui bâtissent des récifs ne peuvent vivre dans l'Océan à une profondeur excédant cent vingt pieds (37^{m}); la seconde tient à ce qu'il y a des espaces de plusieurs centaines de milliers de milles carrés, où, parmi toutes les îles qui sont formées de coraux, il n'en est pas une qui s'élève à une hauteur supérieure à celle que l'on peut expliquer par l'action des vents et des vagues sur des coraux brisés et triturés. Si l'on admet que le fond de l'Océan est resté stationnaire depuis l'époque où les polypiers ont commencé à se former, on devra supposer qu'une multitude de montagnes sous-marines d'une très grande hauteur (car l'Océan est toujours extrêmement profond entre les atolls), s'élevèrent toutes jusqu'à cent vingt pieds

(37^{m}) de la surface, sans qu'aucune cependant ait dépassé le niveau de l'eau. Mais on n'aura pas plus tôt adopté la théorie de l'affaissement, que cette grande difficulté disparaîtra. Quelques changements qui puissent être survenus dans la hauteur de différentes îles ou des pics isolés de certaines chaînes de montagnes, il n'y aurait rien d'impossible à ce que toutes ces îles et tous ces pics eussent été réduits à un même niveau par la submersion graduelle des points les plus élevés, et par les additions faites aux recouvrements calcaires des sommets les moins élevés tels qu'ils existaient à de grandes profondeurs.

Supposant donc que la présence d'îles à lagune, et de récifs-barrières formant enceinte, offre des preuves de l'affaissement du lit de l'Océan, et que les récifs qui forment bordure, ainsi que les bancs soulevés de coquilles et de coraux présentent des indications évidentes de l'élévation de ce même lit, M. Darwin est arrivé à cette importante généralisation, savoir, que la Mer Pacifique, l'Océan Indien, et quelques unes des terres qui les bordent, pourraient être divisées en aires successives d'élévation et d'abaissement. Si, par exemple, on commence par les côtes occidentales de l'Amérique du Sud, on trouvera des indices d'élévation récente, attestée, non par des formations madréporiques, il est vrai,

Digitized by Google

car il ne s'en trouve point dans ces régions, mais par des bancs soulevés de coquilles marines. En avançant vers l'ouest, on traverse une mer profonde et sans îles, puis on arrive à une bande d'atolls et d'îles entourées de récifs, comprenant l'Archipel Dangereux et l'Archipel de la Société, et constituant une aire d'affaissement de plus de 4,000 milles (1450') de long et de 600 milles (217) de large. Plus loin encore, dans la même direction, on atteint la chaîne d'îles à laquelle appartiennent les Nouvelles-Hébrides, les îles Salomon et la Nouvelle-Irlande ; là, des récifs formant bordure et des masses de corail très hautes indiquent une autre aire d'élévation. Enfin, à l'ouest des Nouvelles-Hébrides, on rencontre le récif formant enceinte, de la Nouvelle-Calédonie, et la grande barrière Australienne, qui forment une seconde aire d'affaissement.

Après avoir mis sous les yeux du lecteur cette analyse succincte de la théorie de M. Darwin, je vais indiquer quelques unes des autres conséquences naturelles auxquelles elle me semble devoir conduire (*). Il est évident que la forme et la structure

(*) J'ignore jusqu'à quel point les conclusions exposées dans la dernière partie de ce chapitre s'accorderont avec celles auxquelles M. Darwin est arrivé, et dont il s'est proposé de donner une explication détaillée dans son ouvrage sur les Formations de Corail, qui est sur le point de paraître (1840).

des récifs doivent être sensiblement modifiées suivant la direction et la quantité du mouvement, soit qu'il ait été lent ou rapide; — qu'il se soit opéré de bas en haut ou de haut en bas; — qu'il ait eu lieu dans la même direction, ou qu'il ait été oscillatoire; — ou enfin, qu'il se soit accompli d'une manière intermittente ou uniforme.

Affaissement. — Quand on considère que l'espace sur lequel les atolls sont disséminés dans la Polynésie et dans les mers de l'Inde, peut être comparé à la totalité du continent Asiatique, on se trouve conduit à admettre, par analogie, qu'avant qu'aucun phénomène d'affaissement eût commencé à se produire, les différences de niveau dans une étendue aussi considérable devaient s'élever à 5,000 pieds, 10,000 pieds (1,500 et 3,000^{m} environ), ou même plus encore. Du reste, quelle qu'ait pu être la différence de hauteur entre les montagnes originaires les plus élevées et les plus basses sur lesquelles reposent les atolls, cette différence doit représenter l'épaisseur du corail qui les a toutes nivelées. Flinders n'a donc nullement exagéré le volume du calcaire qu'il regarde comme étant l'ouvrage des coraux; il ne s'est trompé qu'à l'égard de la manière dont ceux-ci purent élever des récifs du

fond d'une mer dont la profondeur n'est point encore connue.

Si l'on réfléchit aux conséquences d'un mouvement de haut en bas, on concevra que pourvu que le fond ne s'abaisse pas trop vite pour que la construction des zoophytes puisse s'élever dans la même proportion, l'épaisseur du corail sera relative à la rapidité de cet abaissement, de sorte que si une aire s'affaisse de deux pieds (61[1]), tandis qu'une autre ne s'enfonce que d'un pied (30[1]), la masse de corail sera une fois plus considérable dans la première aire que dans la seconde. Mais dans les endroits où le mouvement de haut en bas a été uniforme, l'épaisseur du calcaire sera la même, si, originairement, le récif a entouré un haut-fond ou une île très élevée. Lorsque, par exemple, les fondations des atolls A, B (*fig.* 50) furent posées, la mer étant au niveau *c*,

Fig. 50.

A était une île de 2,000 pieds (plus de 600[m]) de haut, entourée d'un récif, et B un haut-fond qui n'était à sec qu'au moment des basses eaux ; mais la terre ferme ayant subi un affaissement prolongé pendant plusieurs siècles, la mer se trouve actuellement au

Digitized by Google

niveau *d*, et la masse de corail est d'égale épaisseur, savoir de 2,000 pieds environ (plus de 600^{m}), au-dessous des points *e* et *f*. Ce n'est qu'au centre des deux atolls que cette épaisseur offre comparativement une grande différence.

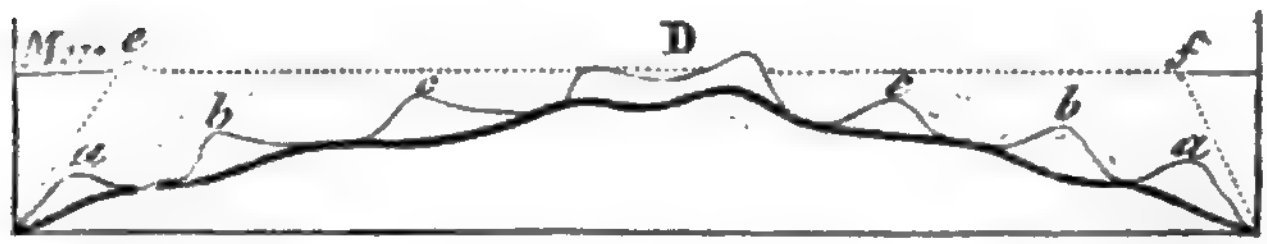
Si la marche de l'affaissement est uniforme et telle que le lit de l'Océan s'abaisse avec plus de rapidité que les coraux n'en peuvent mettre à l'élever par leur accroissement à la partie supérieure, il n'y aura point alors de récif formant enceinte ou d'atoll, mais l'île ou le continent sera de plus en plus submergé, ayant d'abord été incrusté de calcaire corallin, qui formera une couche plus ou moins épaisse suivant que le mouvement aura été lent ou rapide.

D'un autre côté, si le mouvement n'est pas uniforme, et que cependant l'affaissement général du sol sous-marin s'effectue d'une manière plus rapide que l'accroissement des coraux, il pourra se former de nombreux anneaux de corail, analogues à ceux qui sont représentés en *a*, *b*, *c*, *fig.* 51 ; ces anneaux indiquent les époques auxquelles le mouvement de haut en bas était assez lent pour qu'un accroissement considérable de corail pût avoir lieu, d'abord en *a*, puis en *b*, et enfin en *c* ; les espaces intermédiaires marquent les périodes d'affaissement rapide pendant lesquelles il ne put se produire qu'une

Digitized by Google

très petite épaisseur de corail, si toutefois il s'en produisit. Enfin, si la marche de l'enfoncement diminue de vitesse, le petit atoll D pourra être formé, tandis que, si le même sol s'est affaissé plus lentement, c'est-à-dire, suivant une proportion telle que

Fig. 51.



le mouvement vertical n'ait jamais excédé le taux de l'accroissement du corail, alors, au lieu des anneaux *a*, *b*, *c*, c'est le grand atoll *e*, *f*, qui se sera élevé sur la même base.

D'un autre côté, si la terre ferme s'éleve d'une manière irrégulière ou intermittente, des anneaux de corail semblables à ceux que l'on voit en *a*, *b*, *c* (*fig.* 51), pourront aussi être formés; la seule différence consistera en ce que, dans ce cas, les anneaux supérieurs seront produits aux époques où l'élévation s'opère lentement, et les anneaux inférieurs ensuite.

Si le mouvement est ascensionnel et uniforme, le rivage sera constamment bordé d'un récif, et à mesure que la terre ferme s'élèvera au-dessus du niveau de la mer, sa surface sera parsemée de coraux. Ce recouvrement, toutefois, ne sera pas continu, selon

Digitized by Google

toute probabilité, parce qu'il se trouvera exposé à l'action dénudante des vagues pendant l'exhaussement, et qu'après l'émersion il pourra être caché sous la lave ou sous quelque autre matière volcanique.

L'île de Pulo Nias, qui est à la hauteur de Sumatra, et qui a environ 3,000 pieds (plus de 900^{m}) d'élévation, est décrite par le docteur Jack comme étant couverte de coraux et de grandes coquilles de *Chama* (*Tridacna*) *gigas*, qui, à partir du rivage jusqu'au sommet des collines les plus élevées, reposent à divers niveaux sur des roches quartzeuses et arénacées (*).

Oscillations. — Examinons maintenant les effets d'un mouvement oscillatoire comme celui du sol sur lequel repose le temple de Sérapis, près de Naples. (Voir la planche qui sert de frontispice à cet ouvrage.) Ce sol a été deux fois élevé et deux fois abaissé pendant les vingt siècles derniers (**). Dans les premières éditions de cet ouvrage, j'ai établi que, si dans une région d'atolls les mouvements alternatifs de bas en haut et de haut en bas se contre-balancent, de grandes masses de corail s'élèveront au-

(*) Geol. Trans., seconde série, vol. I, p. 397.
(**) Voyez vol. III du présent ouvrage, ch. VIII.

Digitized by Google

dessus du niveau de la mer, et que des îles, telles que celle d'Henderson qui a 60 pieds (18^{m}) au moins de hauteur, ou telles que Tonga et Hapay qui s'élèvent de 10 à 30 pieds (de 3 à 9^{m}) au-dessus du niveau de l'Océan, se trouveront formées.

Nous avons vu, d'après la description de l'île d'Henderson dont il vient d'être question, qu'une masse élevée de corail peut présenter des falaises minées par les vagues et entourées d'un récif de polypiers. Si, dans un tel état de choses, les oscillations sont répétées, il doit en résulter une structure extrêmement compliquée : un récif servant en quelque sorte de noyau à un autre, et le sable calcaire produit par la dénudation, alternant avec des coraux qui resteront entiers et dans la position où ils ont vécu.

On a observé que les îles d'Henderson et de la Reine Charlotte sont unies à leur sommet, et ne présentent aucune trace de lagune. La première, quoique ayant environ 60 ou 70 pieds (18 ou 21^{m}) de hauteur, se trouve au milieu d'une région d'atolls, et offre, par conséquent, un exemple d'élévation partielle dans une aire d'affaissement. On peut supposer qu'après s'être abaissée pendant plusieurs siècles, elle s'est enfin soulevée. Or, quand le mouvement descendant commença à décroître, puis à se transformer en un mouvement ascendant, il est à

Digitized by

croire que le sol resta pendant long temps presque entièrement stationnaire, et qu'alors les coraux qui se trouvaient dans l'intérieur de la lagune élevèrent leurs constructions jusqu'à la surface, et arrivèrent au niveau déjà atteint par ceux qui se trouvaient sur le bord du récif. De cette manière, la lagune disparut, et le sommet de l'île s'aplatit.

Passages qu'on observe dans les lagunes. — Il a déjà été fait mention dans la description générale des atolls et des récifs formant enceinte, de l'existence presque constante d'un passage profond et étroit, communiquant soit avec la lagune soit avec l'eau tranquille qui se trouve entre le récif et le rivage. Les eaux de la mer qui pénètrent dans ce passage à la marée basse, le maintiennent ouvert.

L'origine de ce canal doit, suivant la théorie que nous venons de défendre, être attribuée à des causes en action lors de l'existence du récif formant enceinte, et lorsqu'au milieu s'élevait une île ou une crête de montagne, car la formation d'un tel récif doit précéder celle de l'atoll. Or, quand ces îles de la Mer Pacifique sont assez étendues pour alimenter de petites rivières, il se trouve ordinairement un passage ou un canal dans le récif de coraux formant enceinte, au point où le courant d'eau douce entre dans la mer. Ces canaux, dont la profondeur excède rare-

Digitized by Google

ment 25 pieds, peuvent être attribués, dit le Capitaine Beechey, à l'aversion des lithophytes pour l'eau douce, et à l'absence probable de la matière minérale qui sert à la construction de leurs demeures (*).

Toutefois, M. Darwin pense que le limon qui forme le lit des rivières nuit plus encore que le manque de salure de l'eau à la croissance des polypiers, car les barrières qui entourent les passages sont perpendiculaires et ne s'inclinent pas graduellement, ainsi que cela aurait lieu si la nature de l'élément constituait le seul obstacle à l'accroissement des animaux qui bâtissent des récifs.

Lorsqu'une brèche se trouve ainsi faite dans le récif, la retraite des eaux de la mer, au moment des basses marées, l'empêche de se refermer; car il suffit qu'un récif s'élève de quelques pieds au-dessus de la marque de la basse mer, pour qu'à la marée montante les eaux se réunissent dans la lagune, et pour qu'au moment du jusant elles se précipitent, soit vers le point unique, soit vers les divers points où le récif se trouve le plus bas ou le moins résistant. Ce phénomène est précisément analogue à celui qui a lieu dans nos estuaires, lorsqu'une masse d'eau salée, accumulée pendant la haute mer, s'échappe avec une grande vitesse à la

(*) Voyage to the Pacific, etc. p. 194.

Digitized by Google

marée descendante, et maintient ainsi ouvert un profond passage à travers la barre qui, presque toujours, se forme à l'embouchure d'une rivière. Tout porte à croire que dans le principe il y a plusieurs ouvertures ; mais l'accroissement du polypier tend à fermer toutes celles qui ne servent pas comme principaux canaux de décharge ; de sorte que peu à peu elles se trouvent réduites à un petit nombre, et, en définitive, souvent à une seule.

Grandeur des atolls et des récifs-barrières. — Quant aux dimensions des atolls, il a été reconnu que quelques uns des plus petits, parmi ceux que Beechey a observés dans la Mer Pacifique, n'avaient qu'un mille ($\frac{1}{3}$ de l.) de diamètre. Si leur pente extérieure sous la mer est, en moyenne, de 45°, à la profondeur d'un demi-mille ($\frac{1}{6}$ de l.), ou 2,640 pieds (plus de 800^m), ils auront deux milles ($\frac{2}{3}$ de l.) de diamètre. D'après cela, il semble que chaque atoll doive avoir une tendance à diminuer d'étendue, excepté toutefois dans le cas où des oscillations de niveau agrandissent la base sur laquelle se forme le polypier, en donnant naissance à un talus de détritus tout autour du cône originaire de calcaire. L'explication de la *fig.* 51 nous a déjà mis à portée de reconnaître que si le mouvement d'affaissement a été quelquefois accéléré, les dimensions du récif for-

Digitized by Google

mant enceinte doivent être circonscrites. Si donc, malgré cette tendance à diminuer d'étendue, les îles à lagune d'une énorme grandeur sont si nombreuses, c'est que le mouvement de haut en bas a été lent et uniforme.

Bow Island est décrite par le Capitaine Beechey comme ayant 70 milles (25') de circonférence, et 30 (11') dans son plus grand diamètre, et quelques unes des Maldives passent pour être deux fois aussi grandes. La base de ces atolls doit être beaucoup plus étendue ; cependant on ne pourrait, lors même que cette base serait connue, calculer, d'après ses dimensions, quelle put être jadis la hauteur de l'île aujourd'hui transformée en atoll. En d'autres termes, on ne saurait estimer l'épaisseur du corail qui s'est formé ; car l'inclinaison de la surface d'une île, à partir de son pic le plus élevé jusqu'au rivage, varie considérablement, et ne suit aucune règle fixe. Prenons pour exemple les deux plus grandes îles des Canaries, Fortaventure et Ténériffe ; la première a près de quatre-vingts milles (29') de long sur vingt (7') de large, et un peu moins de 2,000 pieds (plus de 600^{m}) de haut, tandis que Ténériffe a environ cinquante milles (18') de long, et trente (11') dans sa plus grande largeur. Sa hauteur excède deux milles ($\frac{2}{3}$ de l.). Si, donc, ces deux îles eussent été situées dans

Digitized by Google

la région à polypiers de la Mer Pacifique, il aurait fallu, pour qu'elles fussent transformées en atolls, que la plus petite s'enfonçât de onze mille pieds (3350^{m} environ), et la plus grande de deux mille (plus de 600^{m}). Dans ce cas, elles auraient pu, sous le rapport de la grandeur, être comparées à quelques uns des récifs annulaires actuellement existants.

Comme le rivage d'une île ou d'un continent en voie de s'affaisser s'éloigne d'un récif de coraux plus ou moins rapidement, suivant que sa pente est plus ou moins escarpée, on ne peut mesurer l'épaisseur du corail par sa distance de la côte ; cependant, en règle générale, on doit considérer les récifs les plus éloignés de terre comme étant ceux qui ont subi l'affaissement le plus considérable. Flinders nous apprend que le récif-barrière qui se trouve au nord-est de l'Australie est, en plusieurs endroits, à soixante-dix milles (25^{l}) de la terre ferme, et il semble qu'une formation calcaire soit en voie de se produire vers ce point, sur une étendue dont la longueur n'a pas moins de 1000 milles (362^{l}) du nord au sud, et dont la largenr varie entre vingt et soixante-dix milles (9^{l} et 25^{l}). On conçoit qu'elle ne puisse être continue sur ce vaste espace; car il n'est pas douteux qu'un très grand nombre d'îles analogues à quelques unes de celles qui existent encore, comme les îles de Murray, situées par 9°

Digitized by Google

54' de latitude sud, n'aient été submergées l'une après l'autre entre le récif et la terre voisine. On dit aussi que plusieurs parties du golfe situé dans l'intérieur de la barrière ont quatre cents pieds (122^{m}) de profondeur, — d'où il suit que les coraux n'y peuvent vivre, — et que, dans d'autres parties du même golfe, des îles paraissent entourées de récifs.

Structure et stratification. — Il est à remarquer que si le fond des mers équatoriales qui renferment une multitude d'atolls, était soulevé et mis à sec, on apercevrait des pics et des chaînes de montagnes dont la base serait formée de roches volcaniques, granitiques et autres, et sur lesquels reposeraient des masses tabulaires de calcaire. Quelques uns de ces recouvrements calcaires se prolongeraient sur un espace de trois milles (1'), d'autres auraient plus de trois cents milles (100 environ) de circonférence, tandis que leur épaisseur pourrait varier entre mille (305^{m}) et dix mille pieds (près de 3050^{m}), ou même plus. Ils consisteraient principalement en coquilles et en coraux, entiers sur quelques points, et brisés sur d'autres. Dans les basses régions de ce continent, et entre les plateaux élevés ou les chaînes de montagnes, souvent il n'y aurait aucun dépôt contemporain, ou bien, dans les points où les choses s'éloigneraient de

Digitized by Google

la règle générale, les strates calcaires différeraient autant par leur nature que par les espèces de fossiles qu'elles renfermeraient, des masses tabulaires de coraux. On a remarqué que les coraux tendres, quand ils se décomposent dans la lagune, se transforment en un limon blanchâtre qui, desséché, ne peut se distinguer de la craie ordinaire (*). Comme ce sédiment fin doit souvent être entraîné par les vagues et par les courants à de grandes distances, il peut, en tombant sur le fond de la mer, envelopper les zoophytes et les mollusques brachiopodes qui habitent des eaux profondes. Ainsi, il est probable qu'une formation crétacée récente est actuellement en voie de se produire sur plusieurs points de l'Océan Pacifique et de la Mer des Indes.

Le Capitaine Beechey remarque, dans un passage déjà cité, que le corail mort, qui a été élevé à la hauteur de cinquante pieds (15^{m}) et plus, dans l'île d'Henderson, est plus ou moins poreux, percé de trous à la surface comme un rayon de miel, et forme à l'intérieur, lorsqu'il se durcit, une substance calcaire compacte. La même roche, dit-il, a une cassure analogue à celle du calcaire secondaire, et renferme une espèce de millépore qui y est disséminée (**). Les récits de plusieurs autres obser-

(*) Lieut. Nelson, Geol. Trans., seconde série, vol. V.

(**) Beechey, vol. I, p. 45.

Digitized by Google

vateurs attestent également que le corail récent se transforme en calcaire solide, car les eaux infiltrantes tendent toujours à déposer dans ses interstices du carbonate de chaux. L'arrangement de certaines espèces de zoophytes et de testacés dans certaines couches donne ordinairement aux formations coralines une sorte de structure stratifiée. Ailleurs, les cailloux et les particules terreuses amenés par les rivières dans la mer, déterminent des divisions d'un caractère plus marqué. Lorsque sur la terre ferme voisine il y a eu un volcan en activité, des ondées de scories ou des nappes de lave peuvent subitement interrompre la formation d'un récif de coraux, et servir ensuite de fondation à quelque autre récif. L'Ile de France fournit un exemple de ce genre : on y voit un lit de coraux de dix pieds (3^{m}) d'épaisseur, interposé entre deux coulées de lave (*). D'un autre côté, Maclure a remarqué que près du Roseau, dans l'île de la Dominique, aux Antilles, un lit de coraux et de madrépores calcaires, contenant des coquilles, repose horizontalement sur un banc de scories, à deux ou trois cents pieds (61 et 91^{m}) au-dessus du niveau de la mer ; d'autres scories recouvrent aussi cette couche jusqu'à une hauteur considérable (**).

(*) De la Bêche, Geol. Man., p. 142. Quoy et Gaimard, Ann. des Sci. Nat., tome VI.

(**) Observ. on Geology of the West Indian Islands, Journ.

Digitized by

Origine de la chaux. — Un auteur moderne a essayé de faire revivre la théorie émise par quelques uns des premiers géologues, savoir que tous les calcaires doivent leur origine à des êtres organisés. Si l'on examine, dit-il, la quantité de calcaire que renferment les terrains primaires, on trouve qu'elle y est bien moindre, proportionnellement aux roches siliceuses et argileuses, que dans les strates secondaires, ce qui paraît être en rapport avec le petit nombre de testacés qui existaient dans l'ancien Océan. Il conclut ensuite qu'en raison du travail des animaux qui produisent cette substance, « la quantité de terre calcaire déposée sous forme de limon ou de pierre va toujours en augmentant, et que, de même que la série secondaire l'emporte de beaucoup, à cet égard, sur la série primaire, de même il se peut qu'une troisième série de couches vienne à surgir des profondeurs de l'Océan, et renferme une proportion de calcaire plus considérable encore que la seconde. (*) »

Si, par de telles propositions, on tendait seule-à établir que toutes les particules de chaux qui aujourd'hui font partie de l'écorce du globe ont pu successivement contribuer à l'existence des

of Sci., etc. (Observations sur la Géologie des Antilles, Journal des Sciences, etc.) No X, p. 318.

(*) Mac Culloch's, Syst. of Geol., vol. I, p. 219.

Digitized by Google

êtres organisés, en participant à leur composition, la théorie ne me semblerait pas improbable; mais si l'on donne à entendre que la chaux peut être un produit animal provenant de quelques éléments simples, et combiné par les forces qui président aux phénomènes de la vie, je n'aperçois aucun motif suffisant pour admettre une pareille hypothèse, contre laquelle, d'ailleurs, militent plusieurs faits.

Un grand étang, pratiqué à peu près indifféremment dans un sol quelconque, et rempli d'eau de pluie, peut ordinairement devenir la demeure d'animaux testacés; le carbonate de chaux se trouvant répandu par petites quantités, pour ainsi dire universellement. Mais si les eaux venant des sources, ou des hautes terres environnantes, n'amènent avec elles aucune matière calcaire, il ne se produira ni tuf ni marne coquillière. Lorsque les coquilles minces d'une génération de mollusques se décomposent, leurs éléments constituants servent de nourriture aux autres générations qui lui succèdent; mais ce n'est qu'à l'endroit où un courant, capable de fournir une nouvelle quantité de matière calcaire, pénètre dans un lac, ou vers le point où le lac se trouve alimenté par des sources, que les coquilles s'accumulent et donnent naissance à des formations marneuses.

Tous les lacs qui, dans le Forfarshire, ont produit

Digitized by Google

des dépôts de marne coquillière, sont devenus les régions originaires de sources qui émettent encore une grande quantité d'acide carbonique, et un peu de carbonate de chaux. Mais il n'existe point de formations marneuses dans le lac Fithie, près de Forfar, avec absence totale de sources, quoique ce lac soit entouré de dépôts calcaires, et qu'à tous autres égards encore, l'emplacement soit favorable à l'accumulation des testacés aquatiques.

Les charas dont la tige sécrète la plus grande quantité de matière calcaire, se rencontrent en très grande abondance près des sources imprégnées de carbonate de chaux; et l'on sait que si la poule commune était privée de tout aliment calcaire, la coquille de ses œufs aurait trop peu de consistance pour protéger ce qu'elle contient; enfin, on a remarqué qu'à l'époque de la reproduction, certains oiseaux mangent de la craie avec une grande avidité.

Si, d'un autre côté, nous tournons notre attention vers les phénomènes qui appartiennent à la nature inorganique, nous trouvons que dans les régions de volcans, il se fait une émission considérable d'acide carbonique, soit à l'état libre, sous forme de gaz, soit mêlé avec de l'eau, et que les sources de ces districts sont, en général, fortement imprégnées de carbonate de chaux. Lorsqu'on a voyagé en Toscane, dans la

Digitized by Google

région des volcans éteints et sur ses confins, ou seulement lorsqu'on a vu la carte de Targioni (1827), où se trouvent indiqués les principaux emplacements des sources minérales, on ne peut douter que si cette contrée venait à être submergée sous les eaux de la mer, elle fournirait assez de matériaux pour donner naissance à des polypiers qui auraient la plus vaste étendue. L'importance de ces sources ne doit être estimée ni d'après le volume des roches qu'elles ont formées sur les pentes des collines, quoique ces roches puissent suffire pour la construction de grandes cités, ni par le manteau de travertin qui, dans quelques districts, couvre le sol sur une étendue de plusieurs milles. La plus grande partie de la matière calcaire se rend à la mer à l'état de solution; et, en quelque contrée que ce soit, les rivières qui sortent de la craie ou de toute autre roche marneuse et calcaire, entraînent de grandes quantités de chaux dans l'Océan. La chaux forme aussi une des parties constituantes de l'augite et de plusieurs autres minéraux volcaniques et hypogènes; quand ceux-ci se décomposent, elle devient libre, et peut alors se rendre à la mer à l'état de solution.

La chaux contenue généralement dans l'eau de mer, et sécrétée si abondamment par les testacés et par les coraux de la Mer Pacifique, peut donc provenir soit de sources calcaires jaillissant dans le lit

de l'Océan, soit de rivières alimentées par des sources calcaires, ou imprégnées de chaux provenant de roches volcaniques et hypogènes en décomposition. Ceci admis, l'excès de calcaire qu'on observe dans les formations les plus modernes, comparativement aux plus anciennes, se trouve expliqué; car les sources, en général, ne tiennent point de matière argileuse en solution, et ne contiennent qu'une fort petite quantité de matière siliceuse; en revanche, elles enlèvent continuellement de la matière calcaire aux roches qui leur sont inférieures. Or, ce transport constant du carbonate de chaux des parties les plus basses ou les plus aciennes de l'écorce du globe à la surface, doit, dans une succession continuelle d'époques géologiques, donner lieu à un excès de matière calcaire dans les formations les plus récentes relativement aux plus anciennes.

Dernières remarques et conclusion. — Dans les derniers chapitres du premier volume de cet ouvrage, j'ai examiné en détail un grand nombre d'arguments qui ont été avancés pour prouver la différence qui existait dans l'état de la croûte du globe, aux périodes anciennes et aux époques récentes. Parmi les preuves supposées de cette différence, la très petite quantité de matière calcaire contenue dans

Digitized by Google

les roches anciennes aurait pu être prise en considération ; mais il serait trop long d'énumérer toutes les objections soulevées contre les géologues qui admettent que, dans toutes les circonstances essentielles, le cours de la Nature, dans les temps les plus anciens, n'a été autre que celui qui subsiste actuellement. Nous avons vu qu'en opposition à cette doctrine, il s'est manifesté un vif désir de découvrir, dans les roches anciennes, les traces d'une époque à laquelle la terre n'était point encore peuplée, et où sa surface se trouvait dans un état chaotique et inhabitable. L'opinion contraire, consistant à soutenir que les roches les plus anciennes parmi celles qui sont visibles aujourd'hui, pouvaient être les derniers monuments d'une époque antérieure pendant laquelle il serait possible que des êtres vivants eussent déjà peuplé les parties solides et les parties aqueuses du globe, fut déclarée équivalente à la supposition qu'il n'y eut jamais de commencement à l'ordre de choses actuel.

Il y aurait tout autant de justice à accuser un astronome de croire que les œuvres de la création ont embrassé un espace *infini*, par cela seul qu'il refuserait d'admettre que les étoiles les plus éloignées de celles que notre vue peut actuellement atteindre, sont sur les dernières limites du monde matériel. Chaque perfectionnement du télescope

Digitized by Google

nous a révélé l'existence de plusieurs milliers de nouveaux mondes : aussi, serait-il contraire à la raison de supposer que toute l'étendue du vaste système du Monde nous est déjà connue, ou qu'elle sera jamais à portée de l'observation humaine.

Mais on ne peut tirer de ces suppositions aucun argument conduisant à conclure que l'espace qui a été rempli de mondes est infini ; et si l'univers matériel est borné, il n'est qu'un point insignifiant dans l'espace.

Si donc, en jetant un coup d'œil rétrospectif sur l'histoire de la terre, nous rencontrons des monuments commémorateurs d'événements qui peuvent s'être passés plusieurs millions de siècles avant l'époque actuelle, et si, d'un autre côté, nous n'apercevons encore aucun indice évident d'un commencement, nous n'en devons pas moins considérer comme étant d'un grand poids, les arguments déduits de l'analogie en faveur de la probabilité de ce commencement. Enfin, si la durée de la terre, aux temps passés, est bornée, la somme des époques géologiques, quelque nombreuses qu'elles puissent être, ne doit constituer qu'un moment du passé, une portion infinitésimale de l'éternité.

On a prétendu que de même que les différents états auxquels la surface de la terre a été soumise, et les

Digitized by Google

diverses espèces qui l'ont habitée, ont eu tous un commencement, et plusieurs d'entre eux une fin, de même il se pourrait que les séries entières eussent commencé à une certaine époque. On a allégué aussi que puisque nous reconnaissons que la création de l'homme date d'une époque comparativement moderne, et que nous admettons le fait de l'introduction d'un être moral et intellectuel sur la terre, nous pouvons également concevoir l'origine de notre planète elle-même.

Tout en reconnaissant, par analogie, la justesse de ce raisonnement qui tend à nous convaincre encore davantage que le système actuel de changement n'a pas duré de toute éternité, il ne peut toutefois nous empêcher de supposer que quelque signe évident de l'origine du globe, ou quelque indice certain du moment où des êtres organisés commencèrent à l'habiter, finira par nous être connu. Nous aspirons en vain à assigner des limites aux ouvrages de la création dans l'espace, soit que nous portions nos regards vers la voûte étoilée, soit que nous les fassions pénétrer dans ce monde d'animalcules qui nous est révélé par le microscope. Nous sommes donc amenés à reconnaître que pour le *temps* aussi, les limites de l'univers sont au-delà de notre portée. Mais, soit que nous dirigions nos recherches du côté de l'espace, soit que nous les appliquions au temps,

partout nous apercevons les preuves évidentes d'une intelligence créatrice, aussi prévoyante que sage et puissante.

La géologie nous apprend que l'état actuel du globe n'est pas le seul qui ait été approprié à l'existence de myriades d'êtres vivants, mais que d'autres anciens états furent aussi successivement adaptés à l'organisation et aux besoins de certaines races. Les climats ont varié avec la disposition des mers, des continents et des îles; les espèces ont aussi varié; mais, en se renouvelant, leurs types ont conservé assez d'analogie avec ceux des plantes et des animaux antérieurs, pour indiquer partout l'harmonie dans le dessein et l'unité dans les effets. Supposer qu'il appartient à nos recherches philosophiques, ou même à nos simples spéculations, de découvrir la preuve du commencement ou de la fin d'un aussi vaste plan, ce serait s'écarter de la juste appréciation des rapports qui existent entre la puissance bornée de l'homme et celle d'un être infini et éternel.

FIN DE LA SECONDE PARTIE.

642377

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google